



**Escola de Camins**  
Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports  
UPC BARCELONATECH

## Avaluació del canvi climàtic en platges encaixades a Catalunya

Treball realitzat per:  
**Jaume Grau Ortiz**

Dirigit per:  
**Vicente Gracia Garcia**  
**Agustín Sánchez-Arcilla Conejo**

Grau en:  
**Enginyeria Civil**

Barcelona, 23 de setembre de 2016

Departament d'Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental

**TREBALL FINAL DE GRAU**

## AGRAÏMENTS

Als meus tutors, per l'ajuda inestimable que m'han ofert sempre que ho he necessitat.

Als qui m'envolten, per no deixar passar mai l'oportunitat de dir "Vinga va, que ja s'acaba. Un últim esforç". M'heu fet sentir important.

# Avaluació del canvi climàtic en platges encaixades a Catalunya

Autor: Jaume Grau Ortiz

Tutors: Vicente Gracia Garcia, Agustín Sánchez-Arcilla Conejo

## RESUM

El present treball de final de grau avalua l'impacte que pot causar les variacions del clima generades per els efectes del canvi climàtic a les platges encaixades de Catalunya.

Per començar, es defineixen i justifiquen criteris que permeten escollir en quines de les platges es focalitzarà l'estudi entre les més de 300 platges del litoral català: encaixades, que presentin fenomen de basculació, amb una longitud màxima de 2000 metres de línia de costa, evitant aquelles que estan formades per graves i que no permeten l'entrada de l'onatge incident de forma directa.

Una vegada efectuada la catalogació de les platges, les escollides per a la realització de l'estudi són les de Fenals, Lloret i la Torre Valentina, totes situades a la província de Girona.

El següent pas és l'obtenció dels registres d'onatges passats per poder realitzar la comparació amb les projeccions d'onatge futures. Els que s'utilitzen en el present estudi són la xarxa de punts SIMAR 44 de Puertos del Estado per el seu caràcter local i ampli ventall temporal dels registres.

Amb aquestes dades s'estudia l'onatge representatiu d'incidència a les platges en funció de l'altura d'ona, l'energia i el flux d'energia d'aquest, diferenciant entre períodes anual o períodes d'hivern, aplicant o sense aplicar restricció d'angles incidents, treballant a aigües profundes o propagant-lo fins a la zona de trencament a la zona costera.

A continuació és necessari obtenir les projeccions d'onatge que permetin l'avaluació dels canvis de tendència en les ones i, per tant, dels possibles canvis morfodinàmics a la platja. En aquest treball s'usen els resultats obtinguts en l'estudi *Piero Waves*. A partir d'aquí s'avaluen els efectes que es produeixen sobre la platja i es comparen amb els de la situació actual.

A l'analitzar els resultats s'obté que en l'onatge incident es produeix un canvi de tendències en les direccions i altura d'ona. S'observa com, en general, en la situació futura l'onatge presenta un lleuger descens de l'alçada d'ona mitja i un augment de les freqüències d'onatges procedents del sector SE.

Per últim, les conclusions que s'extreuen d'aquests resultats són una tendència a l'augment del transport longitudinal vers el nord, provocant que els sediments de la platja es recolzin més en el límit septentrional i que a més, la freqüència d'oscil·lació del sentit de la component longitudinal de l'onatge incident augmenti en totes les platges estudiades.

Paraules claus: Platja encaixada, canvi climàtic, registres d'onatge, projeccions d'onatge, basculació.

## Índex

|  |    |
|--|----|
| 1. INTRODUCCIÓ.....                              | 11 |
| 2. OBJECTIU .....                                | 12 |
| 3. DEFINICIÓ I DELIMITACIÓ DE L'ESTUDI .....     | 13 |
| 3.1. EFECTES DE LES VARIACIONS CLIMÀTIQUES ..... | 13 |
| 3.2. LES PLATGES ENCAIXADES.....                 | 15 |
| 3.3. FENOMEN DE BASCULACIÓ .....                 | 17 |
| 3.4. EL LLIBRE VERD DE LA COSTA CATALANA .....   | 19 |
| 3.5. DELIMITACIÓ DE L'ESTUDI.....                | 20 |
| 3.5.1. CRITERIS DE SELECCIÓ DE LES PLATGES ..... | 20 |
| 3.5.2. ANÀLISI DE LA ROTACIÓ .....               | 21 |
| 3.5.3. ELECCIÓ DE LES PLATGES .....              | 24 |
| 4. DESCRIPCIÓ DE LES PLATGES D'ESTUDI .....      | 28 |
| 4.1. PLATJA DE FENALS.....                       | 28 |
| 4.1.1. SITUACIÓ GEOGRÀFICA .....                 | 28 |
| 4.1.2. DESCRIPCIÓ GENERAL .....                  | 29 |
| 4.1.3. ÚS DE LA PLATJA.....                      | 29 |
| 4.1.4. BATIMETRIA.....                           | 30 |
| 4.1.5. HIDRODINÀMICA.....                        | 30 |
| 4.2. PLATJA DE LLORET .....                      | 32 |
| 4.2.1. SITUACIÓ GEOGRÀFICA .....                 | 32 |
| 4.2.2. DESCRIPCIÓ GENERAL .....                  | 33 |
| 4.2.3. ÚS DE LA PLATJA.....                      | 33 |
| 4.2.4. BATIMETRIA.....                           | 34 |
| 4.2.5. HIDRODINÀMICA.....                        | 34 |
| 4.3. PLATJA DE LA TORRE VALENTINA.....           | 35 |
| 4.3.1. SITUACIÓ GEOGRÀFICA .....                 | 35 |
| 4.3.2. DESCRIPCIÓ GENERAL .....                  | 36 |
| 4.3.3. ÚS DE LA PLATJA.....                      | 37 |
| 4.3.4. BATIMETRIA.....                           | 37 |
| 4.3.5. HIDRODINÀMICA.....                        | 37 |
| 5. DADES D'ONATGE.....                           | 39 |
| 5.1. XARXA XIOM .....                            | 39 |
| 5.2. BOIES DE PUERTOS DEL ESTADO.....            | 41 |
| 5.3. PUNTS SIMAR .....                           | 42 |

|   |    |
|---|----|
| 5.3.1. VENT .....   | 42 |
| 5.3.2. ONATGE .....   | 42 |
| 5.3.3. VOLUM DE REGISTRES.....  | 43 |
| 5.4. ELECCIÓ DE LES DADES D'ONATGE .....  | 44 |
| 5.4.1. DETERMINACIÓ DELS PUNTS SIMAR .....  | 44 |
| 5.4.2. SOL·LICITUD DE LES DADES .....   | 45 |
| 5.5. ANÀLISI DE LES DADES .....   | 46 |
| 5.6. TRACTAMENT DE LES DADES.....   | 47 |
| 6. METODOLOGIA.....   | 48 |
| 6.1. CONDICIONS DE L'ESTUDI .....   | 48 |
| 6.2. ONATGE REPRESENTATIU.....  | 49 |
| 6.3. SISTEMA DE REFERÈNCIA .....  | 50 |
| 6.4. PROGRAMACIÓ .....  | 53 |
| 6.5. ENERGIA I FLUX D'ENERGIA.....  | 54 |
| 6.6. PERÍODE D'HIVERN.....  | 55 |
| 6.7. RESTRICCIÓ D'ANGLES DE L'ONATGE INCIDENT .....   | 56 |
| 6.7.1. PLATJA DE FENALS.....  | 56 |
| 6.7.2. PLATJA DE LLORET .....   | 57 |
| 6.7.3. PLATJA DE LA TORRE VALENTINA.....  | 58 |
| 6.8. ONATGE INCIDENT PER ANYS.....  | 59 |
| 6.9. PROPAGACIÓ DE L'ONATGE FINS A L'ALTURA DE TRENCAMENT .....   | 60 |
| 6.9.1. ALTURA DE TRENCAMENT .....   | 60 |
| 6.9.2. PROCESSOS DE PROPAGACIÓ.....   | 60 |
| 6.9.3. TEORIA LINEAL DE L'ONATGE .....  | 60 |
| 6.9.4. PROPAGACIÓ. PROGRAMACIÓ.....   | 63 |
| 6.10. SELECCIÓ DELS CRITERIS I AVALUACIÓ DE LA BASCULACIÓ.....  | 64 |
| 6.11. DADES D'ONATGE FUTUR.....   | 65 |
| 7. RESULTATS.....   | 66 |
| 7.1. ONATGES REPRESENTATIUS PER PERÍODE ANUAL, ALTURA D'ONA, A AIGÜES<br>PROFUNDES I SENSE RESTRICCIÓ D'ANGLES.....   | 66 |
| 7.1.1. PLATJA DE FENALS.....  | 66 |
| 7.1.2. PLATJA DE LLORET .....   | 67 |
| 7.1.3. PLATJA DE LA TORRE VALENTINA.....  | 68 |
| 7.2. ONATGES REPRESENTATIUS PER PERÍODE ANUAL, ENERGIA I FLUX, A AIGÜES<br>PROFUNDES I SENSE RESTRICCIÓ D'ANGLES..... | 71 |
| 7.3. COMPARACIÓ D'ONATGES REPRESENTATIUS EN FUNCIÓ DEL PERÍODE (ANUAL O<br>D'HIVERN).....                             | 73 |

|   |     |
|---|-----|
| 7.4. COMPARACIÓ D'ONATGES REPRESENTATIUS EN FUNCIO DE LA RESTRICCIÓ D'ANGLES  | 76  |
| 7.5. ONATGES ANY A ANY PER PERÍODE ANUAL, PER ALTURA D'ONA I A AIGÜES PROFUNDES .....                                   | 79  |
| 7.6. ANÀLISI DELS EFECTES DE LA PROPAGACIÓ .....  | 83  |
| 7.7. ONATGE ANY A ANY EN PERÍODE D'HIVERN, SEGONS FLUX D'ENERGIA, A AIGÜES SOMERES I APLICANT RESTRICCIÓ D'ANGLES ..... | 87  |
| 7.8. ANÀLISI DE L'ONATGE FUTUR .....  | 90  |
| 7.8.1. A AIGÜES PROFUNDES .....   | 90  |
| 7.8.2. A AIGÜES SOMERES.....  | 95  |
| 8. CONCLUSIONS .....  | 102 |
| 8.1. EFECTES DEL CANVI CLIMÀTIC EN L'ONATGE D'INCIDÈNCIA .....  | 102 |
| 8.2. INTERPRETACIÓ DELS EFECTES DEL CANVI CLIMÀTIC EN LA BASCULACIÓ I EL TRANSPORT LONGITUDINAL. ....                   | 103 |
| 8.3. VIES D'ACTUACIÓ DAVANT ELS EFECTES DEL CANVI CLIMÀTIC .....  | 104 |
| 9. BIBLIOGRAFIA .....   | 105 |
| 9.1. DOCUMENTS .....  | 105 |
| 9.2. ESPAIS WEB .....   | 106 |

ANNEX 01. FUNCIONS PER AL CàLCUL DELS RESULTATS

ANNEX 02. LLISTAT DE PLATGES

## Índex de figures

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Platja del Cavet, situada a la localitat tarragonina de Cambrils. Un exemple de platja encaixada. ....  | 13 |
| Figura 2. Platja del Pla i Platja de la Murtra, a Canet de Mar. Són exemples de platges obertes. ....   | 14 |
| Figura 3. Platja de Bogatell, a Barcelona. Platja encaixada delimitada per barreres artificials (espigons). ....  | 15 |
| Figura 4. Platja de Castell, a Palamós. Platja encaixada delimitada per barreres naturals. ....   | 16 |
| Figura 5. Platja de Lloret. Any 2000. ....  | 17 |
| Figura 6. Platja de Lloret. Any 2011. ....  | 18 |
| Figura 7. Platja de Lloret. Any 2014. ....  | 18 |
| Figura 8. Platges de la Mar Bella i de la Nova Mar Bella (Barcelona). Any 2009. ....  | 21 |
| Figura 9. Platges de la Mar Bella i de la Nova Mar Bella (Barcelona). Any 2011. Es pot observar el reompliment de sorra. L'amplada de les platges es duplica. ....      | 22 |
| Figura 10. Platges protegides de l'impacte de l'onatge. Han estat descartades del nostre estudi. ....   | 24 |
| Figura 11. Platja de Fenals. Any 2009. ....   | 25 |
| Figura 12. Platja de Fenals. Any 2011. ....   | 25 |
| Figura 13. Platja de Fenals. Any 2014. ....   | 26 |
| Figura 14. Platja de la Torre Valentina. Any 2001. ....   | 26 |
| Figura 15. Platja de la Torre Valentina. Any 2004. ....   | 27 |
| Figura 16. Tram 16. Hi apareix indicada la platja de Fenals. ....   | 28 |
| Figura 17. Ortofoto de la platja de Fenals amb l'evolució de la línia de costa al llarg dels anys. Es pot observar clarament el fenomen de basculació. ....             | 29 |
| Figura 18. Batimetria de la platja de Fenals. ....  | 30 |
| Figura 19. Rosa d'onatge de la boia de Blanes en funció de l'altura d'ona. ....   | 31 |
| Figura 20. Rosa d'onatge de la boia de Blanes en funció del període d'ona. ....   | 31 |
| Figura 21. Tram 16. Hi apareix indicada la platja de Lloret. ....   | 32 |
| Figura 22. Ortofoto de la platja de Lloret amb l'evolució de la línia de costa al llarg dels anys. Es pot observar clarament el fenomen de basculació. ....             | 33 |
| Figura 23. Batimetria de la platja de Lloret. ....  | 34 |
| Figura 24. Tram 16. Hi apareix indicada la platja de la Torre Valentina. ....   | 35 |
| Figura 25. Ortofoto de la platja de la Torre Valentina amb l'evolució de la línia de costa al llarg dels anys. Es pot observar clarament el fenomen de basculació. .... | 36 |
| Figura 26. Batimetria de la platja de la Torre Valentina. ....  | 37 |
| Figura 27. Rosa d'onatge de la boia de Palamós en funció de l'altura d'ona. ....  | 38 |
| Figura 28. Rosa d'onatge de la boia de Palamós en funció del període d'ona. ....  | 38 |
| Figura 29. Localització de les boies XIOM. ....   | 39 |
| Figura 30. Boia XIOM. ....  | 40 |
| Figura 31. Posició de les boies de Puertos del Estado. ....   | 41 |
| Figura 32. Punts SIMAR davant de la costa catalana. ....  | 43 |
| Figura 33. Platges de Fenals i de Lloret (indicades amb un cercle) i punt SIMAR 2118140, el més proper. ....  | 44 |
| Figura 34. Platja de la Torre Valentina (indicades amb un cercle) i punt SIMAR 2122142, el més proper. ....   | 45 |
| Figura 35. Eixos locals de la platja de Fenals. ....  | 50 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 36. Eixos locals de la platja de Lloret.....   | 51  |
| Figura 37. Eixos locals de la platja de la Torre Valentina. ....  | 52  |
| Figura 38. Captura corresponent a la funció del programari Matlab .....   | 53  |
| Figura 39. Restricció d'onatges a la Platja de Fenals.....  | 56  |
| Figura 40. Restricció d'onatges a la Platja de Lloret. ....   | 57  |
| Figura 41. Restricció d'onatges a la Platja de la Torre Valentina. ....   | 58  |
| Figura 42. Captura de pantalla exemple durant l'execució de la funció corresponent amb el<br>programari Matlab. ....  | 66  |
| Figura 43. Angle d'incidència de l'onatge a la platja de Fenals.....  | 67  |
| Figura 44. Angle d'incidència de l'onatge a la platja de Lloret. ....   | 68  |
| Figura 45. Angle d'incidència de l'onatge a la platja de la Torre Valentina. ....   | 69  |
| Figura 46. Comparativa dels angles d'incidència del flux d'energia a la Platja de la Torre<br>Valentina amb i sense restricció d'angles. ....   | 78  |
| Figura 47. Angles d'incidència any a any de la Platja de Fenals. Per període anual, segons altura<br>d'ona, amb restricció d'angles i a aigües profundes. ....                                  | 81  |
| Figura 48. Angles d'incidència any a any de la Platja de Lloret. Per període anual, segons altura<br>d'ona, amb restricció d'angles i a aigües profundes. ....                                  | 81  |
| Figura 49. Angles d'incidència any a any de la Platja de Torre Valentina. Per període anual,<br>segons altura d'ona, amb restricció d'angles i a aigües profundes. ....                         | 82  |
| Figura 50. Angles d'incidència any a any de la Platja de Fenals. Per període d'hivern, segons flux<br>d'energia, amb restricció d'angles i a aigües someres.....                                | 88  |
| Figura 51. Angles d'incidència any a any de la Platja de Lloret. Per període d'hivern, segons flux<br>d'energia, amb restricció d'angles i a aigües someres.....                                | 88  |
| Figura 52. Angles d'incidència any a any de la Platja de Torre Valentina. Per període d'hivern,<br>segons flux d'energia, amb restricció d'angles i a aigües someres. ....                      | 89  |
| Figura 53. Angles d'incidència any a any de la Platja de Fenals. Per període d'anyal, segons<br>altura d'ona, amb restricció d'angles, a aigües profundes. ....                                 | 92  |
| Figura 54. Mòdul d'incidència any a any de la Platja de Fenals. Per període d'anyal, segons<br>altura d'ona, amb restricció d'angles, a aigües profundes. ....                                  | 92  |
| Figura 55. Angles d'incidència any a any de la Platja de Lloret. Per període d'anyal, segons<br>altura d'ona, amb restricció d'angles, a aigües profundes. ....                                 | 93  |
| Figura 56. Mòdul d'incidència any a any de la Platja de Lloret. Per període d'anyal, segons<br>altura d'ona, amb restricció d'angles, a aigües profundes. ....                                  | 93  |
| Figura 57. Angles d'incidència any a any de la Platja Torre Valentina. Per període d'anyal,<br>segons altura d'ona, amb restricció d'angles, a aigües profundes. ....                           | 94  |
| Figura 58. Mòdul d'incidència any a any de la Platja Torre Valentina. Per període d'anyal,<br>segons altura d'ona, amb restricció d'angles, a aigües profundes. ....                            | 94  |
| Figura 59. Angles d'incidència any a any de la Platja de Fenals. Per període d'hivern, segons flux<br>d'energia, amb restricció d'angles i a aigües someres. Predicció futura. ....             | 96  |
| Figura 60. Mòdul d'incidència any a any de la Platja de Fenals. Per període d'hivern, segons flux<br>d'energia, amb restricció d'angles i a aigües someres. Predicció futura. ....              | 97  |
| Figura 61. Angles d'incidència any a any de la Platja de Lloret. Per període d'hivern, segons flux<br>d'energia, amb restricció d'angles i a aigües someres. Predicció futura. ....             | 98  |
| Figura 62. Mòdul d'incidència any a any de la Platja de Lloret. Per període d'hivern, segons flux<br>d'energia, amb restricció d'angles i a aigües someres. Predicció futura. ....              | 99  |
| Figura 63. Angles d'incidència any a any de la Platja de la Torre Valentina. Per període d'hivern,<br>segons flux d'energia, amb restricció d'angles i a aigües someres. Predicció futura. .... | 100 |



Figura 64. Angles d'incidència any a any de la Platja de la Torre Valentina. Per període d'hivern, segons flux d'energia, amb restricció d'angles i a aigües somes. Predicció futura. .... 101

## Índex de taules

|   |    |
|---|----|
| Taula 1. Coeficient de basculament B .....  | 22 |
| Taula 2. Subcategories B1 .....   | 23 |
| Taula 3. Funcions de Matlab desenvolupades fins el moment.....  | 59 |
| Taula 4. Funcions de Matlab desenvolupades per a la propagació de l'onatge fins a aigües<br>somes. ....   | 63 |
| Taula 5. Nodes escollits per cada una de les platges. ....  | 65 |
| Taula 6. Sumes vectorials en funció de l'altura d'ona, l'energia i el flux d'energia. ....  | 71 |
| Taula 7. Sumes vectorials en funció del període anual o d'hivern.....   | 73 |
| Taula 8. Comparativa dels resultats anuals i d'hivern.....  | 73 |
| Taula 9. Comparativa dels resultats amb i sense restricció d'angles. ....   | 76 |
| Taula 10. Comparativa dels resultats a aigües somes i aigües fondes de la platja de Fenals.....   | 83 |
| Taula 11. Comparativa dels resultats a aigües somes i aigües fondes de la platja de Lloret.....   | 83 |
| Taula 12. Comparativa dels resultats a aigües somes i aigües fondes de la platja de la Torre<br>Valentina. ....   | 83 |
| Taula 13. Comparativa dels resultats a aigües somes i aigües fondes de la platja de Fenals, amb<br>restricció d'angles i per període d'hivern.....              | 85 |
| Taula 14. Comparativa dels resultats a aigües somes i aigües fondes de la platja de Lloret, amb<br>restricció d'angles i per període d'hivern.....              | 85 |
| Taula 15. Comparativa dels resultats a aigües somes i aigües fondes de la platja de la Torre<br>Valentina, amb restricció d'angles i per període d'hivern. .... | 85 |

## 1. INTRODUCCIÓ

En els darrers anys s'ha massificat a través dels mitjans de comunicació i, sobretot, les xarxes socials, el volum d'informació relacionada amb el canvi climàtic. Professionals del sector, gran varietat de gurus i la població en general s'han aventurat a teoritzar sobre els efectes i conseqüències que exercirà aquest sobre la vida a la nostra societat i, en general, al planeta Terra.

Una de les preocupacions principals que genera aquesta temàtica és quin efecte tindrà sobre les zones costeres, i més en un país com el nostre. L'estat espanyol i encara més concretament, Catalunya, tenen com una de les grans fonts d'ingressos el turisme. Malgrat que aquest es reparteix per tot el territori, és a les zones costeres on es troba el màxim atractiu per als turistes estrangers. El bon clima, l'alta qualitat de les platges i la quantitat de quilòmetres de línia de costa suposen un interès per als visitants.

És lògic doncs que els efectes que pugui tenir el canvi climàtic en el litoral català suposin una preocupació no només per al sector hotelier i d'interès turístic, sinó també per la pròpia Administració, ja que la manca de qualitat de les platges o fins i tot la seva desaparició suposaria una dràstica disminució d'ingressos que faria replantejar el model econòmic de tot el país.

Avaluar l'impacte del canvi climàtic a cada una de les platges seria una feina d'un abast molt elevat, per això el que pretén aquest estudi no és una valoració dels efectes a totes les platges catalanes, sinó que s'han establert uns criteris per discernir en quines d'elles resulta més interessant analitzar-ne les conseqüències.

## 2. OBJECTIU

Les platges encaixades poden patir un basculament de la posició de la línia de la costa degut a una alternança d'onatges. Aquesta configuració pot entrar en conflicte amb el seu ús com a recurs turístic al generar amplex de platja emergida variables. El canvi climàtic pot fer variar aquests processos en els propers anys. L'objectiu d'aquest treball és avaluar l'impacte que pot causar aquestes variacions del clima a les platges de Catalunya.

### 3. DEFINICIÓ I DELIMITACIÓ DE L'ESTUDI

#### 3.1. EFECTES DE LES VARIACIONS CLIMÀTIQUES

Els gasos que provoquen l'efecte hivernacle són cada cop més presents a l'atmosfera i, evidentment, generen certes variacions climàtiques com l'augment de les temperatures o canvis en la direcció del vent.

Totes aquestes alteracions es tradueixen en les platges en una diferència del nivell del mar, de l'altura d'ona incident i de la direcció d'aquesta. Així doncs, es produirà una modificació de l'onatge tant en aigües profundes com en aigües someres.

Les alteracions d'aquestes característiques produiran un canvi en el transport longitudinal de sediments en les platges, però no en totes elles les conseqüències seran similars. Cal diferenciar entre dues tipologies de platja: les platges obertes, que poden tenir un balanç positiu o negatiu del volum de sediments entrants i sortints; i les platges encaixades, en què el volum de sediments no varia però el que sí es produeix es un moviment basculant dins la pròpia platja.



*Figura 1.* Platja del Cavet, situada a la localitat tarragonina de Cambrils. Un exemple de platja encaixada.



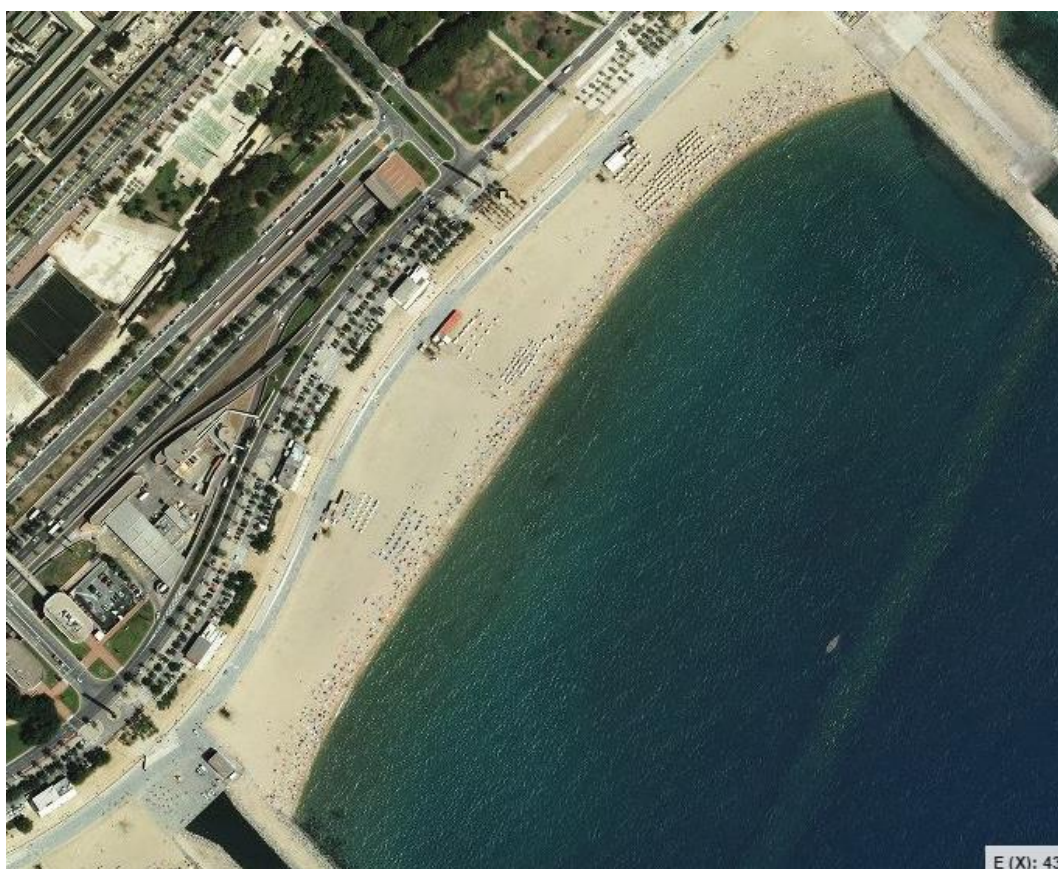
*Figura 2.* Platja del Pla i Platja de la Murtra, a Canet de Mar. Són exemples de platges obertes.

### 3.2. LES PLATGES ENCAIXADES

Les platges encaixades son aquelles que presenten una certa estabilitat en el flux de sediments i unes plataformes geomètricament regulars, amb una variació de la línia de costa mínima generalment, degut a que es troben en una zona abrigada.

Aquestes platges es troben delimitades per ambdós costats per unes barreres que impedeixen parcial o totalment l'entrada i sortida de sediments a la platja, així que per aquest motiu es converteixen en dipòsits amb una quantitat de sediments constant.

Les barreres que delimiten la platja es poden observar clarament i poden ser d'origen natural o artificial. Les barreres naturals poden ser penya-segats o afloraments rocosos que confinen la platja. Les barreres artificials poden ser, per exemple, espigons.



*Figura 3.* Platja de Bogatell, a Barcelona. Platja encaixada delimitada per barreres artificials (espigons).





*Figura 4.* Platja de Castell, a Palamós. Platja encaixada delimitada per barreres naturals.



### 3.3. FENOMEN DE BASCULACIÓ

Com s'ha comentat anteriorment, un dels efectes del canvi climàtic serà la modificació de l'angle d'incidència de l'onatge sobre la costa. El transport longitudinal de sediments és provocat per la incidència obliqua de l'onatge. Si l'angle d'incidència varia, la morfologia de la platja també.

Com que les platges encaixades tenen el transport longitudinal limitat vers l'exterior, el moviment dels sediments es produeix en la pròpia platja. Si l'angle d'incidència de l'onatge va variant, es diu que la platja pateix un fenomen de basculació. Per tant, la basculació és un fenomen propi de les platges encaixades.

No totes les platges encaixades, però, basculen. Només ho fan aquelles que són objecte de variacions en l'angle incident de l'onatge. Es pot observar visualment la basculació d'una platja si es fa una comparativa de la seva línia de costa al llarg d'un període de temps d'una sèrie d'anys. El transport longitudinal limitat de sediments provoca que el gruix principal de sediments es recolzi principalment en una de les dues barreres delimitadores de la platja.

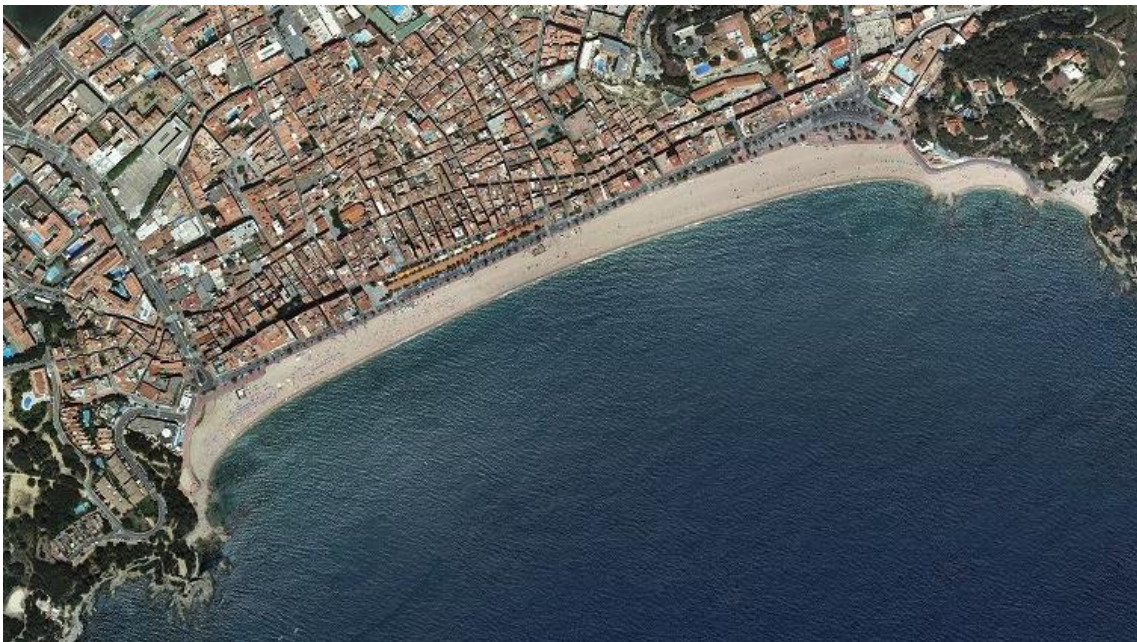
En les Figures 5, 6 i 7 es pot observar el fenomen de basculació a la Platja de Lloret. En els anys 2000 i 2014 els sediments es recolzen sobre la barrera nord de la platja i en l'any 2011 s'observa clarament com els sediments es recolzen a la barrera sud.



*Figura 5.* Platja de Lloret. Any 2000.



*Figura 6. Platja de Lloret. Any 2011.*



*Figura 7. Platja de Lloret. Any 2014.*

Aquelles platges encaixades que estiguin més exposades a l'onatge incident i les barreres naturals o artificials de les quals permetin l'impacte directe d'aquest, seran més susceptibles de patir els efectes de la basculació.

L'objectiu d'aquest estudi és caracteritzar l'onatge incident a les platges encaixades de Catalunya, veure com afecta a la seva basculació i fer-ne una comparativa amb les dades d'onatge futur, que tenen en compte els efectes del canvi climàtic.

### 3.4. EL LLIBRE VERD DE LA COSTA CATALANA

El litoral català té una extensió superior als 300 quilòmetres de línia de costa. Malgrat la zona costera de Catalunya només suposi un 7% de la seva superfície, alberga el 50% de la població. Davant la importància que té el litoral català en l'economia del país les administracions corresponents s'han encarregat del seu estudi i preservació.

L'instrument principal d'estudi i informació de la zona costera catalana és el Llibre verd de l'estat de la zona costanera de Catalunya, elaborat per ordre del Departament de Territori i Sostenibilitat de la Generalitat de Catalunya. El Llibre verd de l'estat de la zona costanera de Catalunya, realitzat per el CIIRC (Centre Internacional d'Investigació dels Recursos Costaners) és de referència per la planificació i gestió de la costa catalana. Caracteritza el seu estat i la seva evolució aportant dades obtingudes de l'estudi exhaustiu de les platges de les províncies catalanes.

Cataloga i conté informació de cada una de les platges del litoral català. Hi apareixen catalogades 127 platges del litoral tarragoní, 100 platges del litoral barceloní i 104 platges situades a la província de Girona: un total de 331 platges.

Davant aquest gran nombre resulta altament laboriós fer un anàlisi de cada una d'elles. Per això s'han anat marcant uns criteris per a l'elecció d'una xifra molt més reduïda de platges per dur a terme l'estudi de l'impacte del canvi climàtic.



### 3.5. DELIMITACIÓ DE L'ESTUDI

#### 3.5.1. CRITERIS DE SELECCIÓ DE LES PLATGES

El primer criteri de selecció, ja designat anteriorment, és el fet de centrar-nos únicament en les platges encaixades. Així doncs, s'ha realitzat una recerca platja a platja per determinar quines d'elles es poden considerar encaixades. Per fer-ho s'han utilitzat un parell de pautes: la observació gràfica de cada platja per detectar-ne les barreres que produeixen l'encaixament i la mesura de la seva longitud. S'han escollit aquelles platges delimitades clarament per barreres naturals o artificials i d'una longitud menor als 2 quilòmetres, ja que per una longitud major els efectes de l'encaixament i la possible basculació són molt més reduïts i imperceptibles.

De les més de 300 platges que ens distingeix el Llibre verd es pot considerar que vora a 200 d'elles són encaixades en funció dels criteris indicats anteriorment.

Hem obtingut un fitxer on hi apareixen indicades i localitzades totes les platges encaixades catalanes amb el seu codi (proporcionat per el Llibre verd i que conté les dues primeres lletres de la comarca on està localitzada, les dues primeres lletres del terme municipal i el nombre en funció de quina posició ocupa dins de les platges de la província, sent la número 1 la platja situada més al sud i la de número més elevat la situada més al nord). Aquest fitxer és de format \*.kml (el programari adequat per treballar amb l'arxiu és Google Earth), i hi ha marcades les platges encaixades de Catalunya amb la seva localització, el nom, el codi i la mida de sediment. A partir d'aquest document s'ha elaborat un catàleg de platges amb les dades a estudiar, que es pot trobar a "Annex 02. Llistat de platges"

Com que el nombre de platges escollides segueix sent molt elevat s'han seguit marcant criteris de selecció. Les platges que interessin per a aquest estudi han de tenir la capacitat de bascular, és a dir, els seus sediments han de poder desplaçar-se longitudinalment. Aquest moviment es donarà amb més facilitat amb mides de sediment reduïdes.

Per tant, s'han descartat aquelles platges formades per graves (s'ha obtingut el  $d_{50}$  del Llibre verd), ja que el seu efecte de basculació estarà molt més limitat.

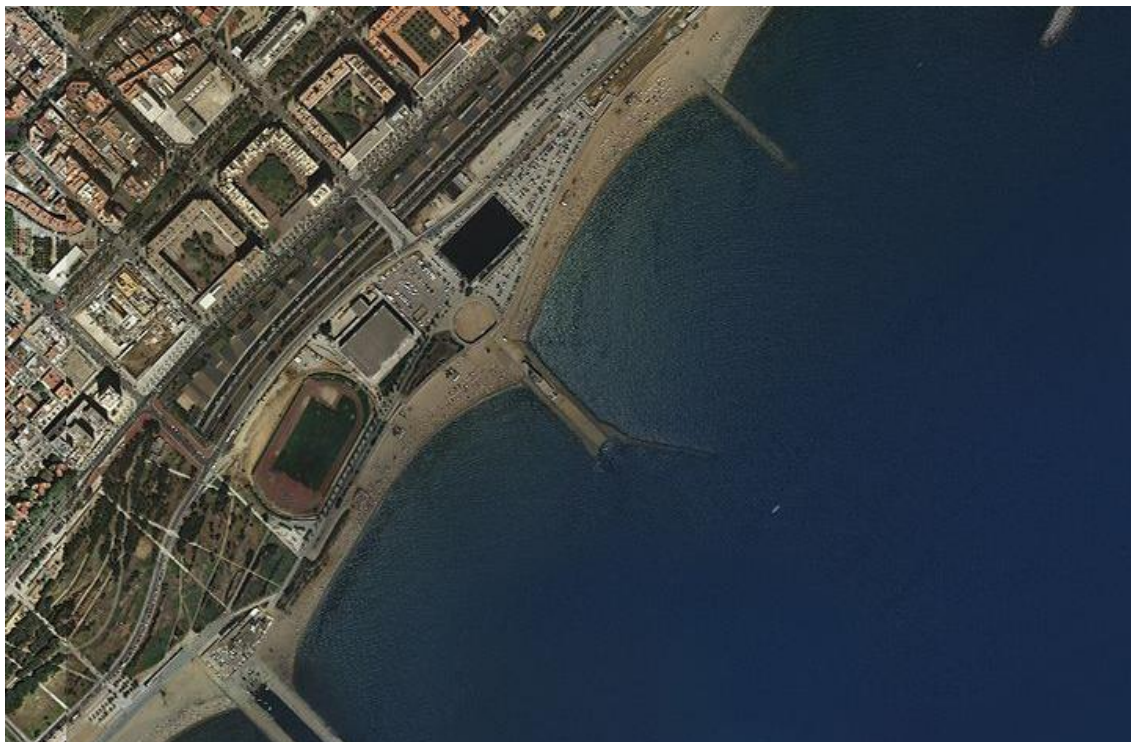
### 3.5.2. ANÀLISI DE LA ROTACIÓ

La rotació o basculació de les platges és observable fent una comparativa de la línia de costa d'aquestes al llarg d'un període de temps. En una platja es produeix un fenomen de rotació si s'observa que la línia de costa varia i el sediment es recolza alternativament en el temps en una de les dues barreres delimitadores de l'encaixament.

Per tal d'analitzar si en les platges seleccionades anteriorment es produeix la rotació s'ha observat l'evolució de la línia de costa d'aquestes al llarg dels anys. L'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya té catalogades i obertes a tots els usuaris del seu portal web les ortofotos que han realitzat des d'inicis de la segona meitat del segle XX.

S'ha realitzat un anàlisi platja per platja per determinar a quines es produïa el fenomen de la basculació. Una comparativa de les imatges al llarg dels anys permet observar la variació de la línia de costa en el temps. La determinació de l'existència de la rotació, però, es complica per diferents motius:

- Hi ha períodes llargs de temps sense ortofotos en algunes de les zones. En ocasions es produeix un salt temporal massa gran entre fotografies consecutives per poder analitzar el canvi gradual de la platja. Llargs períodes sense ortofotos generen la incògnita de saber com ha variat la línia de costa durant aquest temps i trenquen la seqüència que permet observar un patró en el moviment dels sediments de la platja.
- Moltes de les platges, sobretot aquelles amb un interès turístic més elevat, han estat reomplertes de sorra des dels inicis del segle XXI per tal de guanyar espai per als banyistes. Així doncs, l'estudi de l'evolució de la línia de costa es veu truncat en el moment en que la variació deixa de produir-se per fenòmens de l'onatge i passa a variar artificialment. És el cas, per exemple, de moltes de les platges encaixades situades a la costa de la ciutat de Barcelona o de les situades a la costa Daurada (Figures 8 i 9).



*Figura 8.* Platges de la Mar Bella i de la Nova Mar Bella (Barcelona). Any 2009.



*Figura 9.* Platges de la Mar Bella i de la Nova Mar Bella (Barcelona). Any 2011. Es pot observar el reompliment de sorra. L'amplada de les platges es duplica.

Algun any els resultats obtinguts són distorsionats ja que s'ha produït un gran temporal uns dies abans de la realització de l'ortofoto. Les grans variacions de la línia de costa es produeixen en les situacions climàtiques més adverses, quan l'onatge és més intens. Per tant, la posició de la línia de costa queda molt afectada en aquestes situacions. En un estudi a llarg termini es pot observar quines fotografies corresponen a alteracions exagerades de la línia de costa degut a grans temporals. És el cas, per exemple, de les fotografies de la costa brava realitzades el 2012.

Com que la presència de rotació no és una dada exacta i fàcilment detectable (com per exemple ho seria la longitud de la platja o la seva orientació), es va proposar la creació d'uns índexs que ens permetessin valorar el grau d'intensitat de la rotació d'una platja i deixar en dubte aquelles que no deixen molt clar a través de l'anàlisi de l'evolució de la línia de costa si es produeix aquesta basculació.

Així doncs, a cada una de les platges que fins el moment havien complert tots els criteris existents se li va assignar un coeficient de basculament B, que es troba descrit a continuació:

| <b>Categoria</b> | <b>Descripció</b> |
|------------------|-------------------|
| B.1              | Bascula           |
| B.2              | Incertesa         |
| B.3              | No bascula        |

*Taula 1.* Coeficient de basculament B

I dins de la categoria B1 es van crear tres subcategories, per determinar aquelles platges amb més interès per a l'estudi:

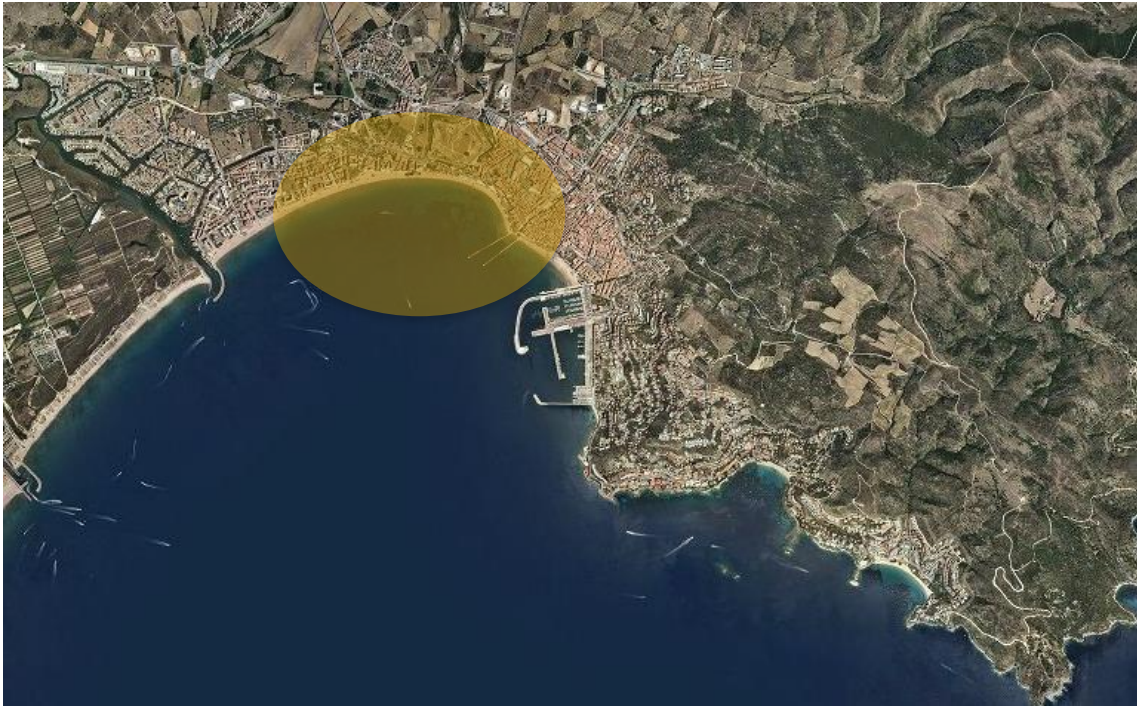
| Subcategoria | Descripció                        |
|--------------|-----------------------------------|
| B.1.1        | Basculament intens                |
| B.1.2        | Basculament mitjà                 |
| B.1.3        | Basculament lleuger o no detectat |

*Taula 2.* Subcategories B1



### 3.5.3. ELECCIÓ DE LES PLATGES

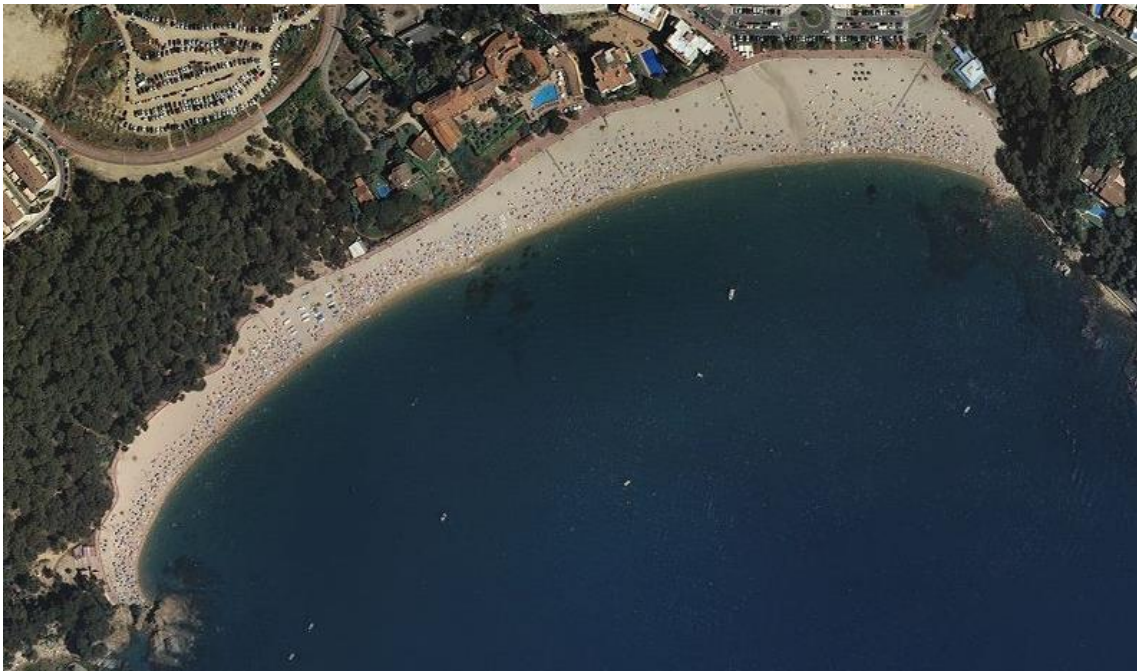
L'assignació d'aquests paràmetres a les platges resulta altament difícil i incert. El criteri personal pot influir clarament en l'elecció de la categoria de basculament. Moltes de les platges han generat dubtes, i algunes estan tan protegides per les barreres delimitadores o orientades de tal forma que l'impacte de l'onatge incident és gairebé nul que s'ha decidit descartar-les per a l'estudi (veure Figura 10).



*Figura 10.* Platges protegides de l'impacte de l'onatge. Han estat descartades del nostre estudi.

Els exemples més clars de platges amb rotació són tres platges situades a la costa brava: la platja de Fenals, la platja de Lloret i la platja de la Torre Valentina. A continuació es presenten ortofotos obtingudes de l'ICGC per fer la comparativa visual de la línia de costa al llarg dels anys de les platges de Fenals i de la Torre Valentina (la comparativa de la platja de Lloret ja està indicada anteriorment, a les Figures 5, 6 i 7).



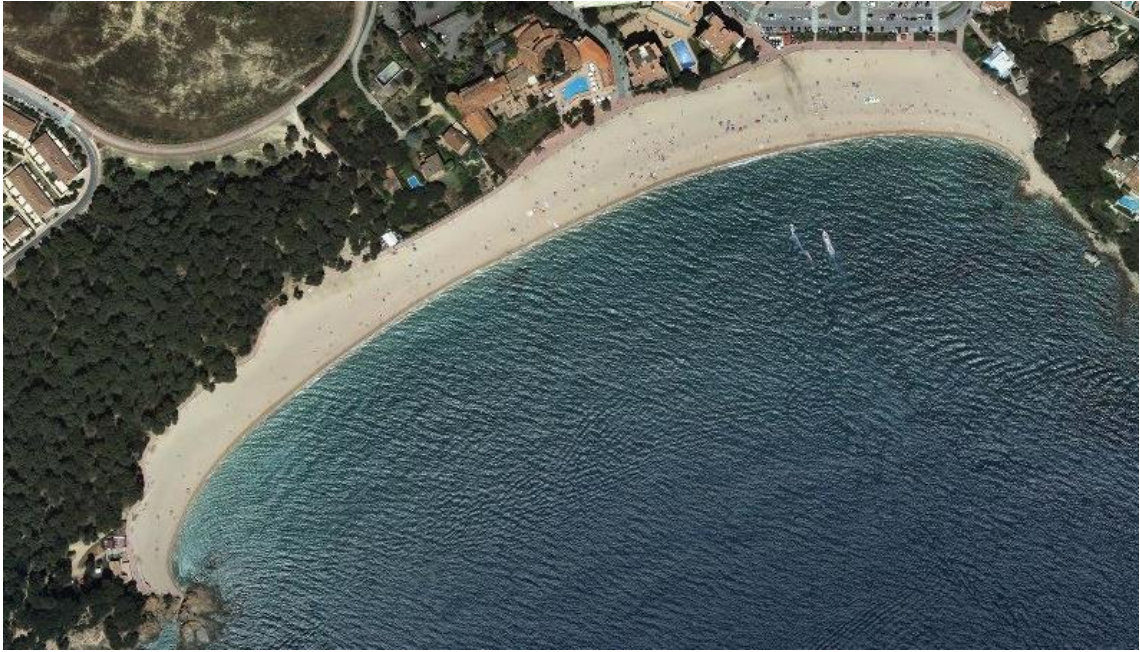


*Figura 11.* Platja de Fenals. Any 2009.

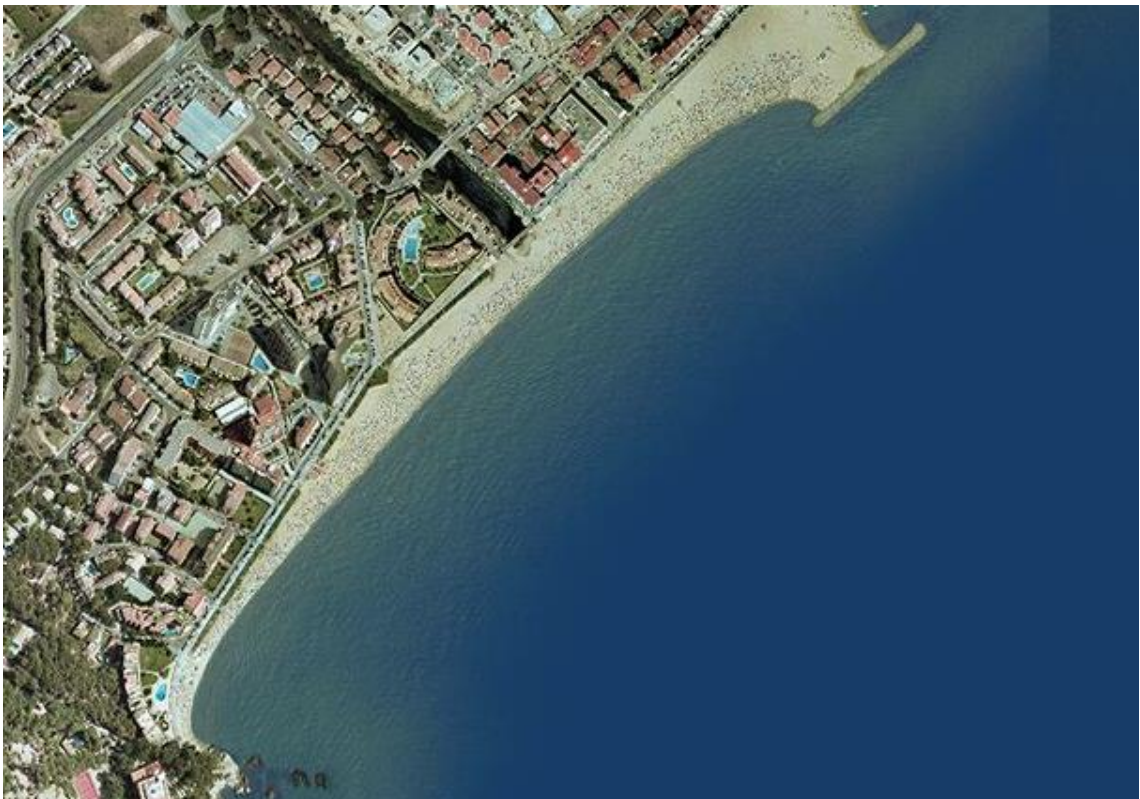


*Figura 12.* Platja de Fenals. Any 2011.





*Figura 13.* Platja de Fenals. Any 2014.



*Figura 14.* Platja de la Torre Valentina. Any 2001.



*Figura 15.* Platja de la Torre Valentina. Any 2004.

Aquestes tres platges compleixen tots els criteris de selecció i són les més indicades per a la realització de l'estudi.

## 4. DESCRIPCIÓ DE LES PLATGES D'ESTUDI

Són molts els factors que intervenen en la gestió d'una platja: morfològics, hidrodinàmics, ambientals... Per a poder fer prediccions precises de l'evolució d'una platja cal tenir una base de dades el més completa possible de la zona d'estudi. A continuació es realitzarà una descripció i caracterització de les platges d'estudi amb la intencionalitat de servir de base per a l'estudi posterior a partir de les dades publicades al Llibre Verd de la Costa Catalana.

### 4.1. PLATJA DE FENALS

#### 4.1.1. SITUACIÓ GEOGRÀFICA

Codi: SELL005

Tal i com indica el codi, la platja de Fenals es troba situada a la comarca de la Selva, al terme municipal de Lloret de Mar. Com indica el Llibre Verd de la Costa Catalana està situada en el sector 16, del Port de Blanes a la Llosa des Llevador juntament amb 11 platges més. És la 5a platja situada més al sud de la província de Girona.

La seva localització geogràfica UTM és la següent:

Latitud: 486118

Longitud: 4615971

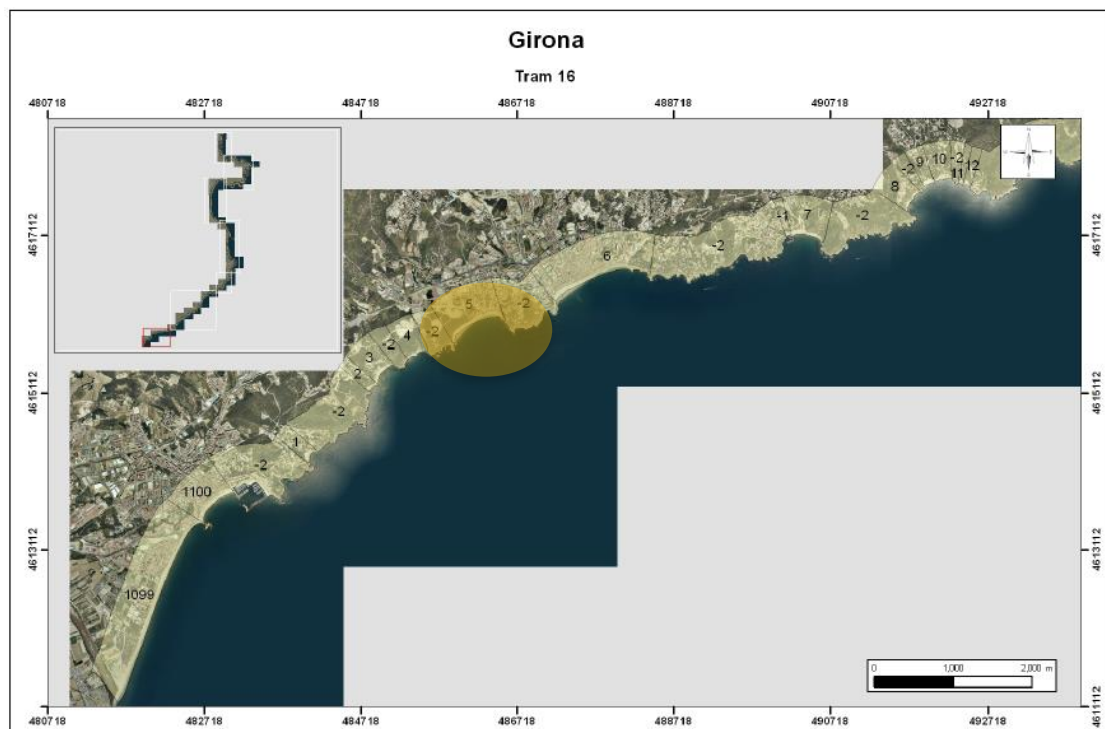
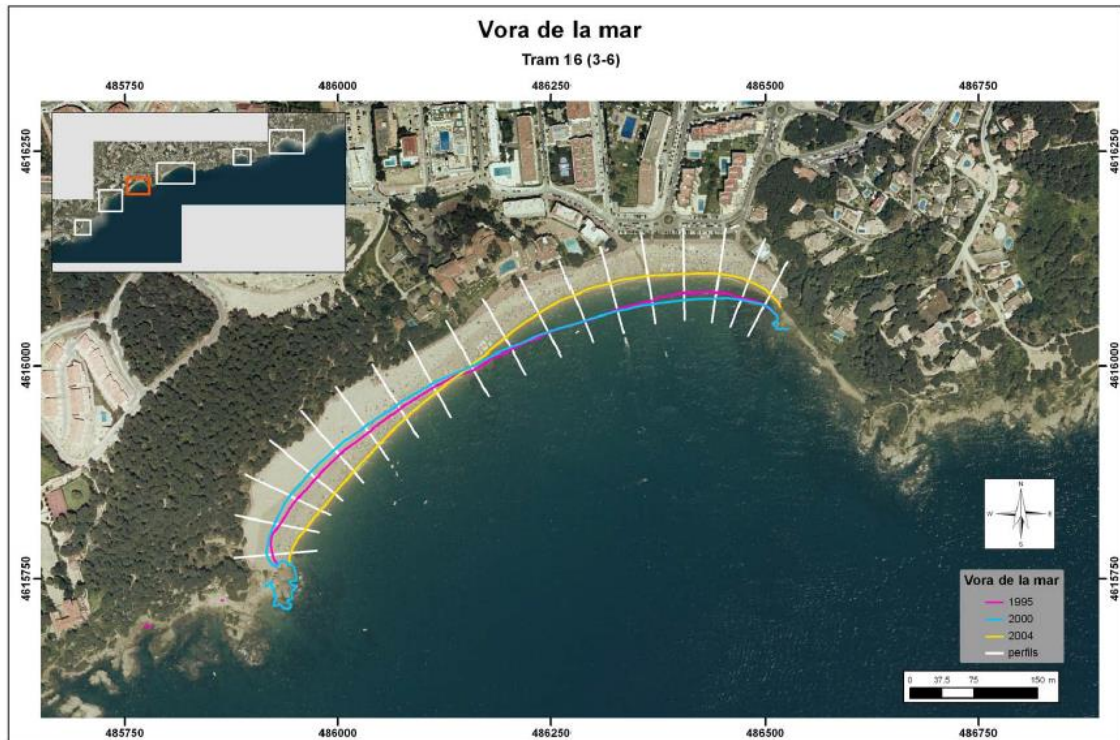


Figura 16. Tram 16. Hi apareix indicada la platja de Fenals.





*Figura 17.* Ortofoto de la platja de Fenals amb l'evolució de la línia de costa al llarg dels anys. Es pot observar clarament el fenomen de basculació.

#### 4.1.2. DESCRIPCIÓ GENERAL

La longitud de la platja de Fenals és de 726 metres (dins els paràmetres fixats en els criteris de selecció de les platges a estudiar). És una platja d'una amplitud considerable, de 45 metres de mitjana, amb una amplitud màxima de 76 metres i una mínima de 18. L'amplitud mitjana de les platges gironines és de 32 metres (28 metres en el tram 16). Així, la platja de Fenals es troba per sobre de la mitjana d'amplitud. Aquest ample de platja ajuda a convertir-la en una destinació turística destacada, ja que la seva superfície és molt elevada, de 34296 m<sup>2</sup>.

El sediment està caracteritzat per un  $d_{50}=1,41\text{mm}$ , mida que també correspon als paràmetres de selecció anteriorment esmentats. És considerada una platja encaixada en ambdós extrems de forma natural, per roques.

L'orientació de la platja respecte al nord és de 50°.

#### 4.1.3. ÚS DE LA PLATJA

La platja de Fenals té un ús principalment turístic i recreatiu, tot i que es duen a terme altres activitats nàutiques. El grau d'ocupació és alt. Hi ha passeig marítim al llarg de tota la platja i

està perfectament equipada per a l'ús turístic. És freqüent l'acumulació de sorra al passeig marítim, afectant així al mobiliari urbà.

#### 4.1.4. BATIMETRIA

La Figura 18 presenta la batimetria de la platja de Fenals i serà utilitzada per determinar l'altura de tancament. Segons el Llibre Verd aquesta altura és de 7,7 metres. La documentació gràfica (aportada per Navionics) confirma aquesta altura, ja que es pot veure com aquesta és la profunditat d'una de les barreres naturals de la platja.

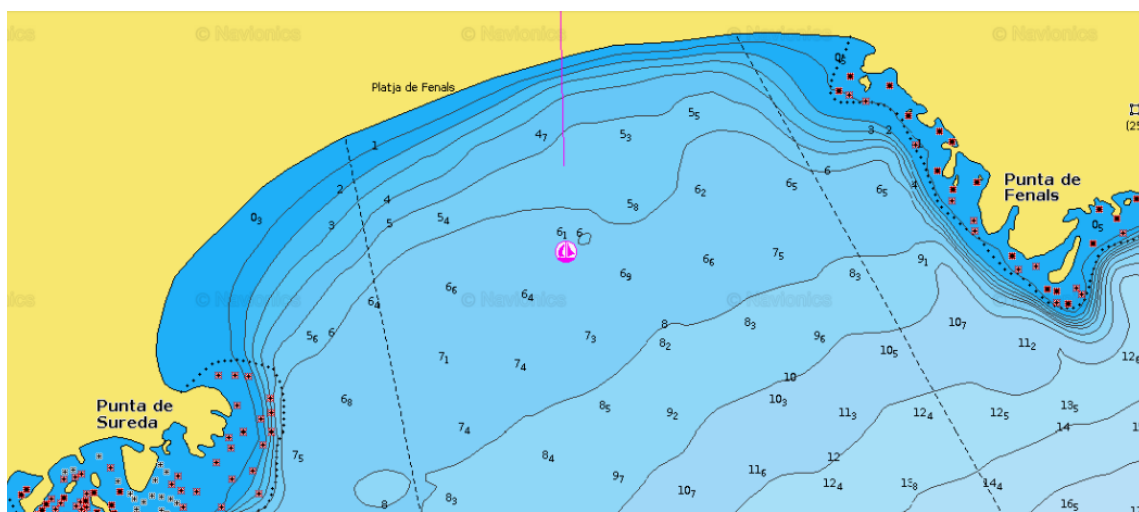


Figura 18. Batimetria de la platja de Fenals.

#### 4.1.5. HIDRODINÀMICA

Per a l'estudi hidrodinàmic de la platja és útil la representació gràfica de la direcció de procedència de les ones, indicant també la intensitat i la freqüència. Aquesta representació gràfica és la rosa d'onatge. La rosa d'onatge corresponent a la platja de Fenals és la de la boia de Blanes, i es pot observar en les Figures 19 i 20. L'alçada mitjana de l'ona és de 0,69 m i un període pic de 6,2 s.

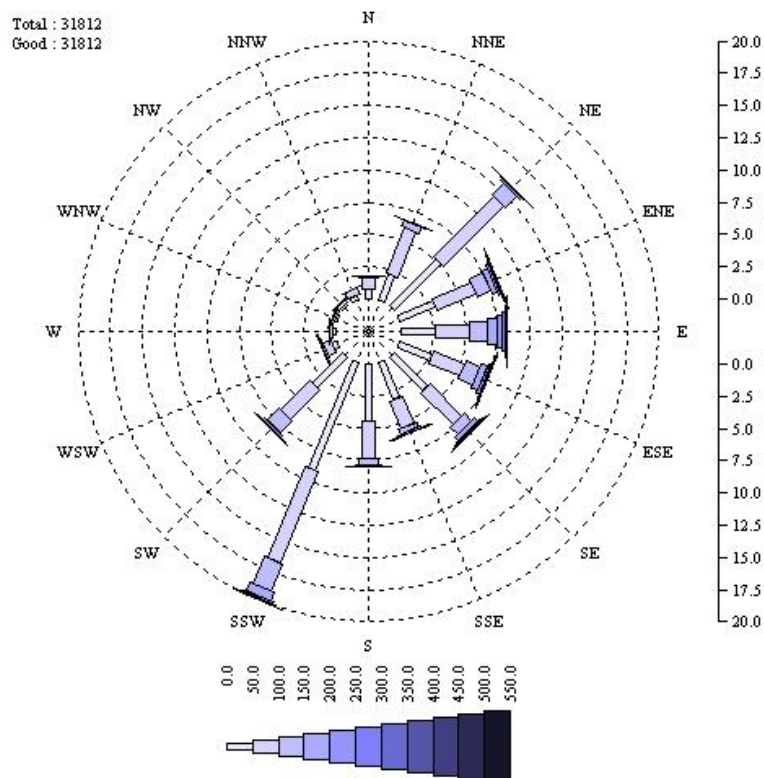


Figura 19. Rosa d'onatge de la boia de Blanes en funció de l'altura d'ona.

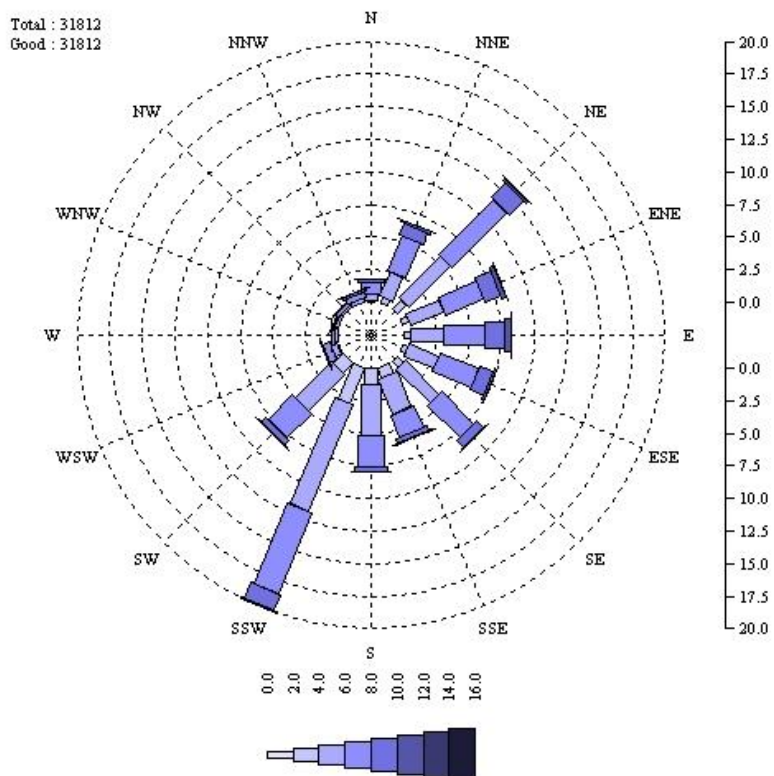


Figura 20. Rosa d'onatge de la boia de Blanes en funció del període d'ona.

## 4.2. PLATJA DE LLORET

### 4.2.1. SITUACIÓ GEOGRÀFICA

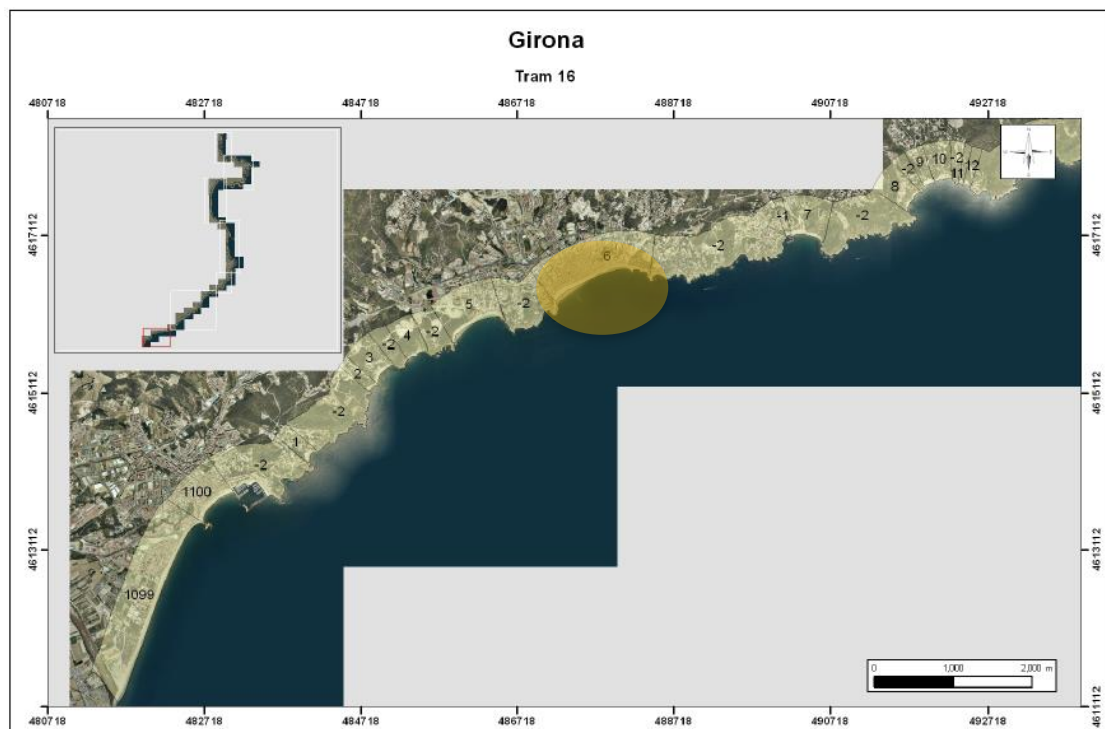
Codi: SELL006

Tal i com indica el codi, la platja de Lloret es troba situada a la comarca de la Selva, al terme municipal de Lloret de Mar. Com indica el Llibre Verd de la Costa Catalana està situada en el sector 16, del Port de Blanes a la Llosa des Llevador juntament amb 11 platges més. És la 6a platja situada més al sud de la província de Girona.

La seva localització geogràfica UTM és la següent:

Latitud: 488227

Longitud: 4616694



*Figura 21.* Tram 16. Hi apareix indicada la platja de Lloret.



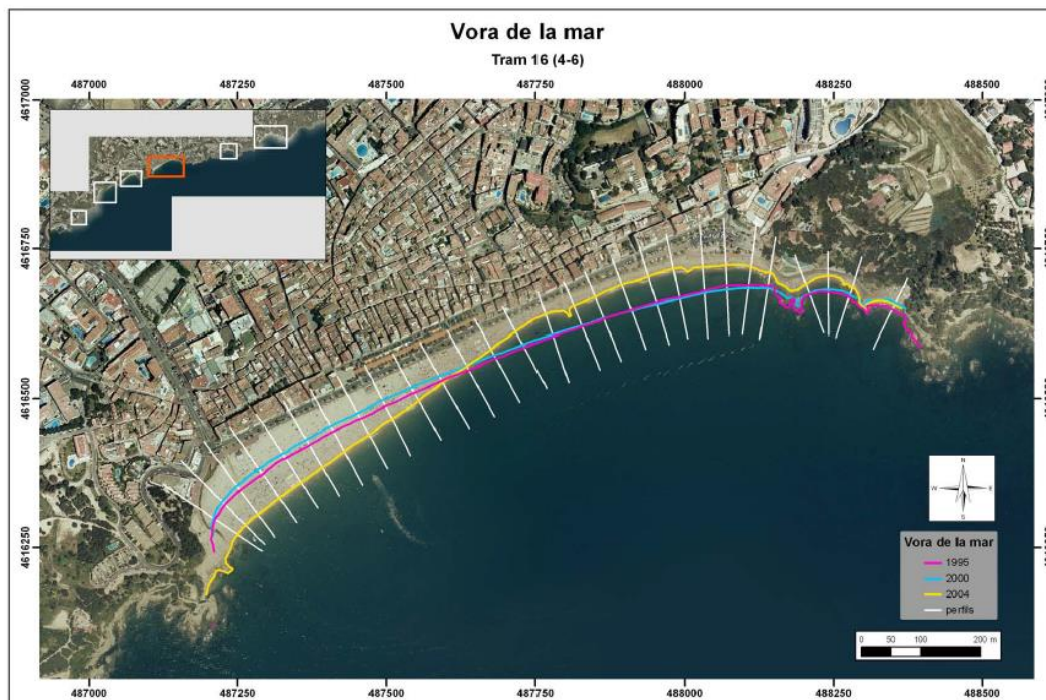


Figura 22. Ortofoto de la platja de Lloret amb l'evolució de la línia de costa al llarg dels anys. Es pot observar clarament el fenomen de basculació.

#### 4.2.2. DESCRIPCIÓ GENERAL

La longitud de la platja de Lloret és de 1419 metres (dins els paràmetres fixats en els criteris de selecció de les platges a estudiar). És una platja d'una amplitud més reduïda que la de Fenals, de 24 metres de mitjana, amb una amplitud màxima de 97 metres i una mínima de 5. L'amplitud mitjana de les platges gironines és de 32 metres (28 metres en el tram 16). Així, la platja de Lloret es troba per sota de la mitjana d'amplitud. Malgrat aquest ample de platja és una destinació turística destacada, ja que la seva superfície és molt elevada, fins i tot superior a la de Fenals degut a la seva gran longitud, de 53428 m<sup>2</sup>.

El sediment està caracteritzat per un  $d_{50}=1,46\text{mm}$ , mida que també correspon als paràmetres de selecció anteriorment esmentats. És considerada una platja encaixada en ambdós extrems de forma natural, per roques.

L'orientació de la platja respecte al nord és de 60°.

#### 4.2.3. ÚS DE LA PLATJA

La platja de Lloret té un ús principalment turístic i recreatiu, tot i que es duen a terme altres activitats nàutiques i esportives. El grau d'ocupació és alt. Hi ha passeig marítim al llarg de tota

la platja i està perfectament equipada per a l'ús turístic. És freqüent l'acumulació de sorra al passeig marítim, afectant així al mobiliari urbà.

#### 4.2.4. BATIMETRIA

La Figura 23 presenta la batimetria de la platja de Lloret. Serà utilitzat per determinar l'altura de tancament. Segons el Llibre Verd aquesta altura és de 7,7 metres. La documentació gràfica (aportada per Navionics) confirma aquesta altura.

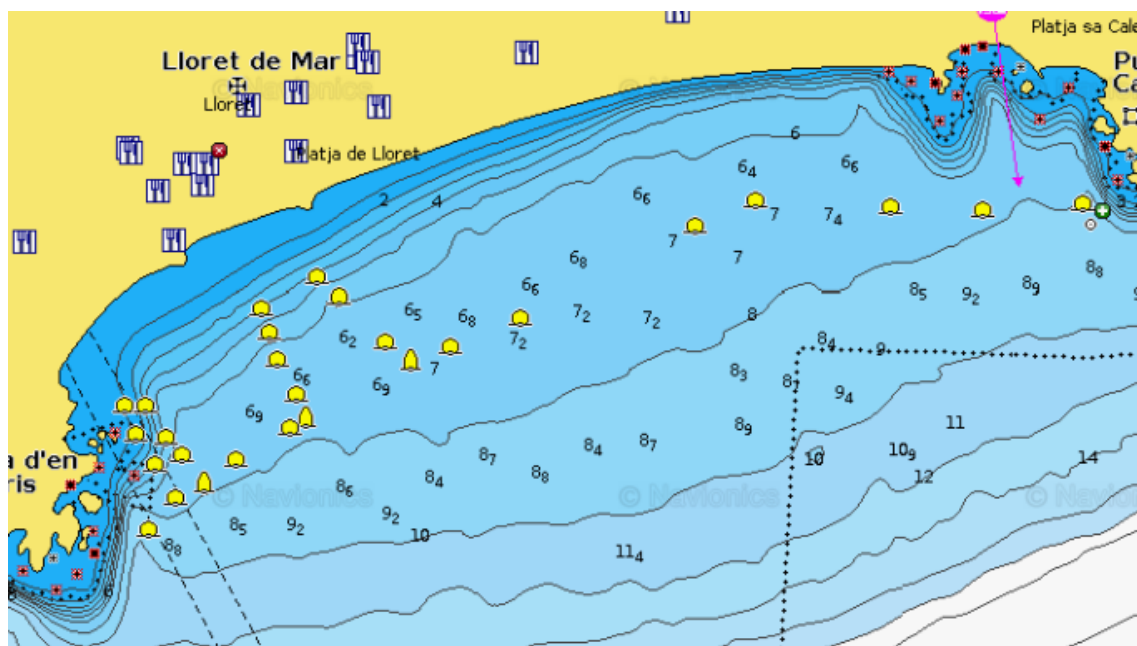


Figura 23. Batimetria de la platja de Lloret.

#### 4.2.5. HIDRODINÀMICA

Per a l'estudi hidrodinàmic de la platja és útil la representació gràfica de la direcció de procedència de les ones, indicant també la intensitat i la freqüència. Aquesta representació gràfica és la rosa d'onatge. La rosa d'onatge corresponent a la platja de Lloret és la de la boia de Blanes, i es pot observar en les Figures 19 i 20. L'alçada mitjana de l'ona és de 0,69 m i un període pic mig de 6,2 s.

### 4.3. PLATJA DE LA TORRE VALENTINA

#### 4.3.1. SITUACIÓ GEOGRÀFICA

Codi: BECA030

Tal i com indica el codi, la platja de la Torre Valentina es troba situada a la comarca del Baix Empordà, al terme municipal de Calonge. Com indica el Llibre Verd de la Costa Catalana està situada en el sector 17, de la Llosa des Llevador a marina de Palamós juntament amb 20 platges més. És la 30a platja situada més al sud de la província de Girona.

La seva localització geogràfica UTM és la següent:

Latitud: 508010

Longitud: 4632191

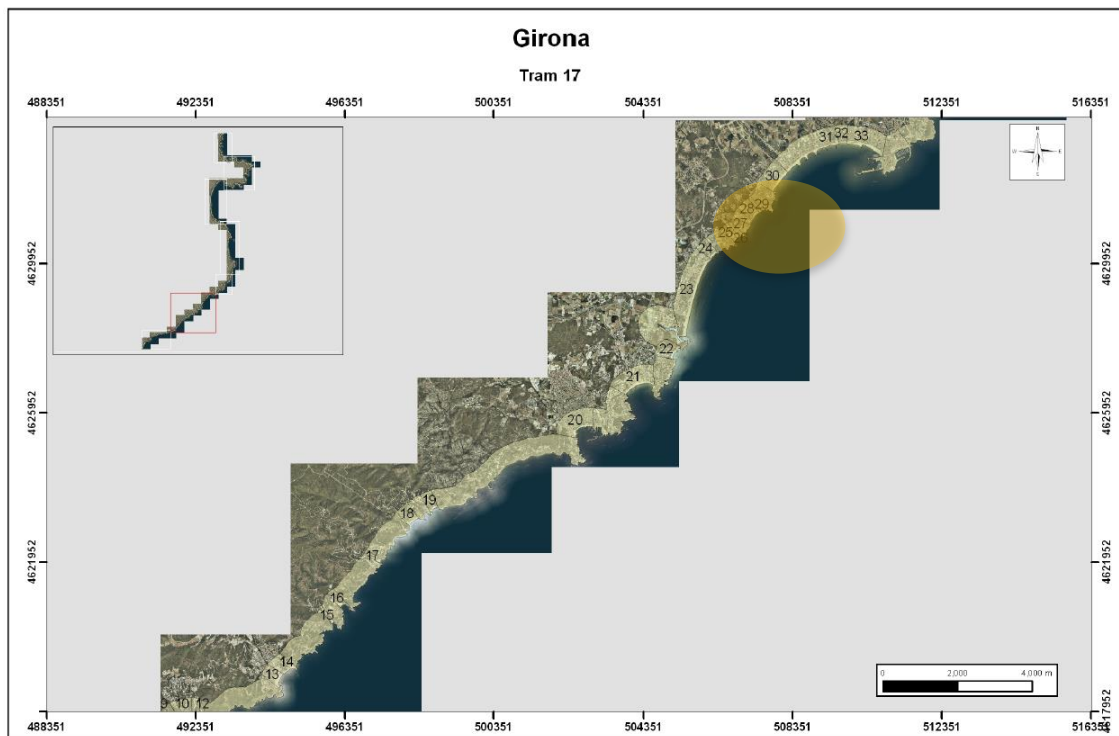
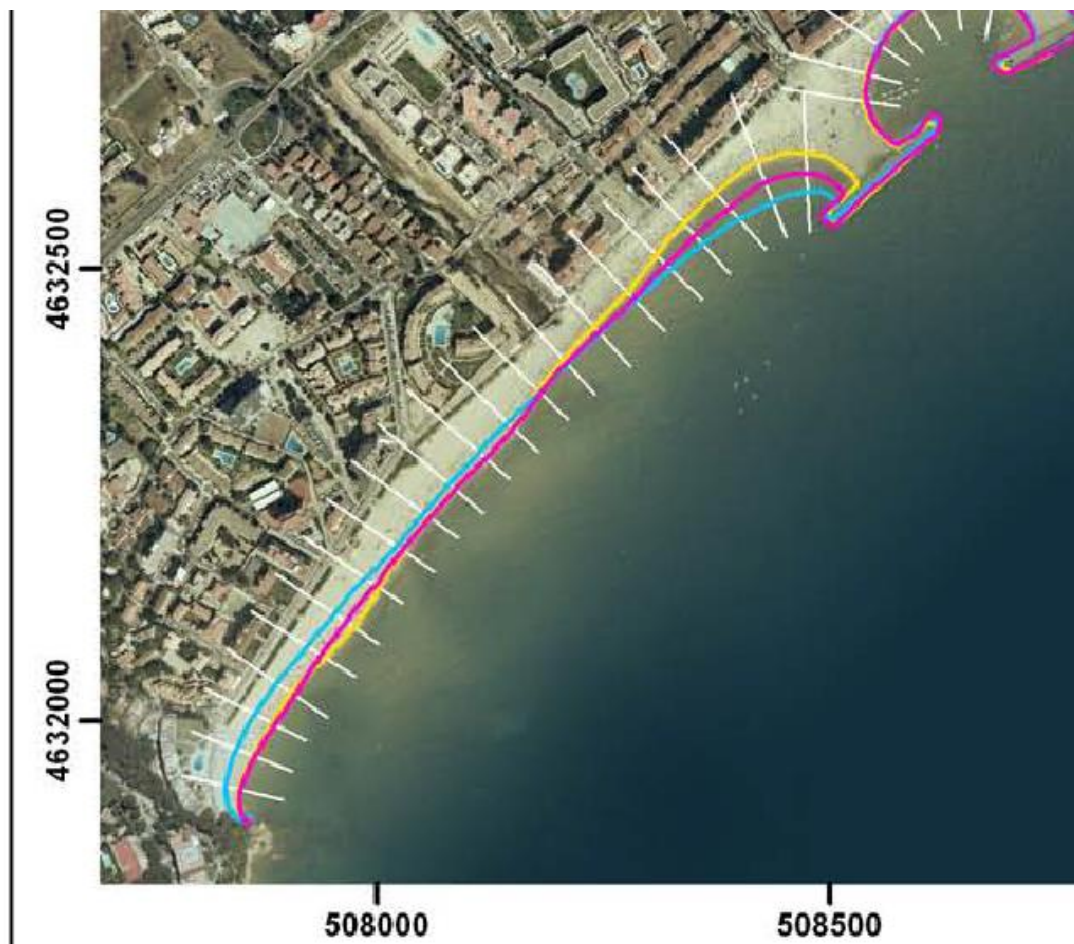


Figura 24. Tram 16. Hi apareix indicada la platja de la Torre Valentina.



*Figura 25.* Ortofoto de la platja de la Torre Valentina amb l'evolució de la línia de costa al llarg dels anys. Es pot observar clarament el fenomen de basculació.

#### 4.3.2. DESCRIPCIÓ GENERAL

La longitud de la platja de la Torre Valentina és de 637metres (dins els paràmetres fixats en els criteris de selecció de les platges a estudiar). És una platja d'una amplitud mitjana molt elevada, de 45 metres, amb una amplitud màxima de 60 metres i una mínima de 35. L'amplitud mitjana de les platges gironines és de 32 metres (34 metres en el tram 16). Així, la platja de la Torre Valentina es troba per sobre de la mitjana d'amplitud. És una destinació turística i recreativa destacada, i la seva superfície és de 28907 m<sup>2</sup>.

El sediment està caracteritzat per un  $d_{50}=1,06\text{mm}$ , mida que també correspon als paràmetres de selecció anteriorment esmentats. És considerada una platja encaixada en un extrem de forma natural i en l'altre de forma artificial.

L'orientació de la platja respecte al nord és de 38º.

#### 4.3.3. ÚS DE LA PLATJA

La platja de la Torre Valentina té un ús principalment turístic i recreatiu, tot i que es duen a terme altres activitats nàutiques i esportives. El grau d'ocupació és alt. Hi ha passeig marítim al llarg de tota la platja i està perfectament equipada per a l'ús turístic. És freqüent l'erosió per l'acció de temporals.

#### 4.3.4. BATIMETRIA

La Figura 26 presenta la batimetria de la platja de la Torre Valentina. Serà utilitzat per determinar l'altura de tancament. Segons el Llibre Verd aquesta altura és de 8,7 metres. La documentació gràfica (aportada per Navionics) confirma aquesta altura.

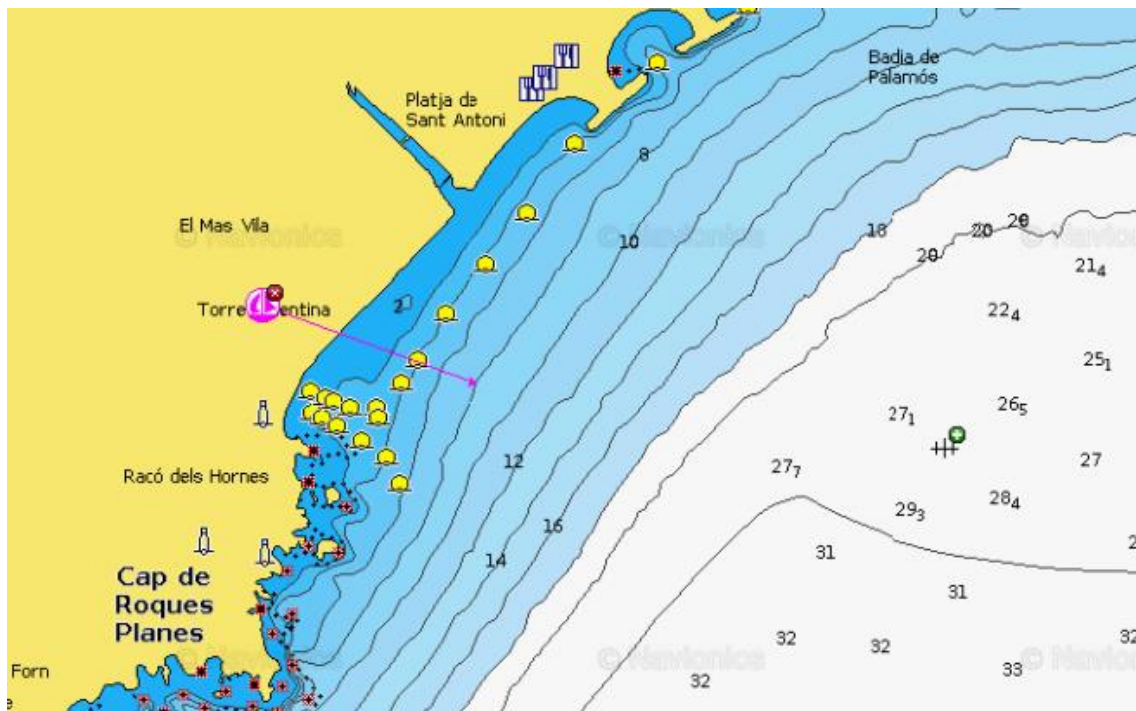


Figura 26. Batimetria de la platja de la Torre Valentina.

#### 4.3.5. HIDRODINÀMICA

Per a l'estudi hidrodinàmic de la platja és útil la representació gràfica de la direcció de procedència de les ones, indicant també la intensitat i la freqüència. Aquesta representació gràfica és la rosa d'onatge. La rosa d'onatge corresponent a la platja de la Torre Valentina és la de la boia de Palamós, i es pot observar en les Figures 27 i 28. L'alçada mitjana de l'ona és de 0,87 m i un període pic mig de 5,5 s.



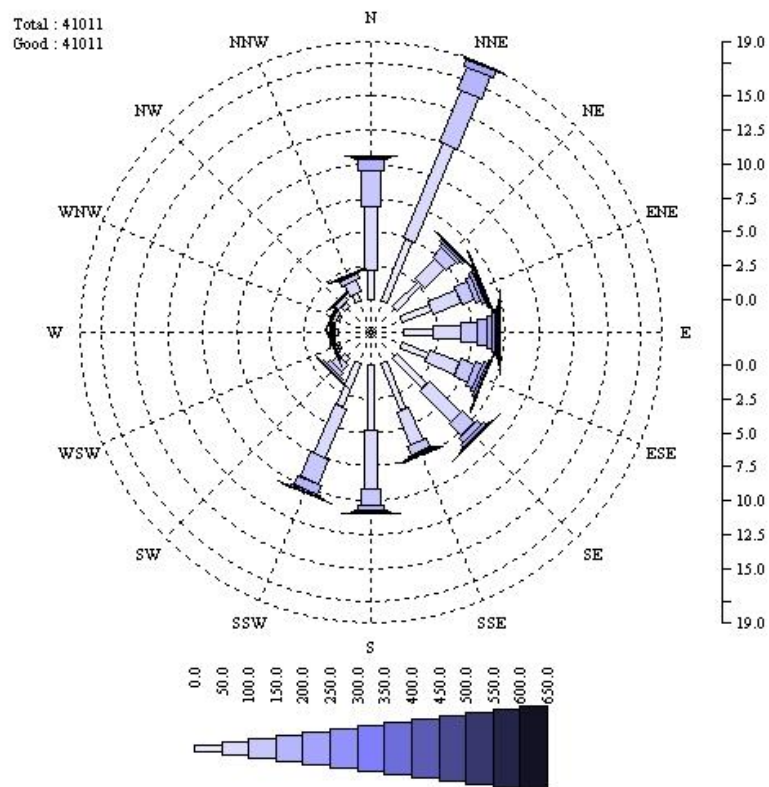


Figura 27. Rosa d'onatge de la boia de Palamós en funció de l'altura d'ona.

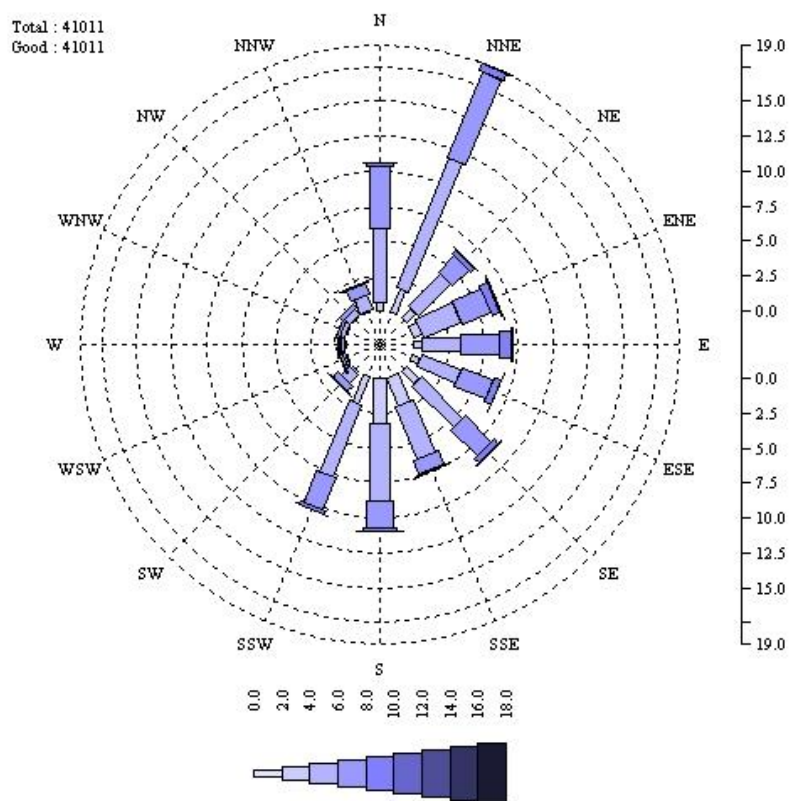


Figura 28. Rosa d'onatge de la boia de Palamós en funció del període d'ona.

## 5. DADES D'ONATGE

Un cop determinades i escollides de forma justificada les platges sobre les que es durà a terme l'estudi cal analitzar l'onatge incident a elles. Per fer-ho, és necessari obtenir les dades d'onatge disponibles corresponents a les zones costaneres on es troben situades.

Per obtenir dades de l'onatge al litoral català es pot optar per diversos recursos: la xarxa XIOM, els punts SIMAR i les boies de Puertos del Estado.

### 5.1. XARXA XIOM

La Xarxa d'Instrumentació Oceanogràfica i Meteorològica (XIOM) és propietat de la Generalitat de Catalunya i es compon d'un conjunt d'equipaments de mesurament de les variables costaneres més significatives, mitjançant diferents tipus de boies, estacions meteorològiques i mareògrafs. Existien diferents boies situades a diversos punts de la costa catalana (el golf de Roses, el delta de la Tordera, el delta del Llobregat i el cap de Tortosa) que proporcionaven informació sobre l'onatge.

Les primeres dades d'onatge recollides daten de 1984 (boies de Blanes i Llobregat). Posteriorment s'afegí al 1990 la boia de Tortosa i al 1992 la de Roses. A continuació s'indica la localització de les boies XIOM i s'adjunta una fotografia d'una boia en funcionament:

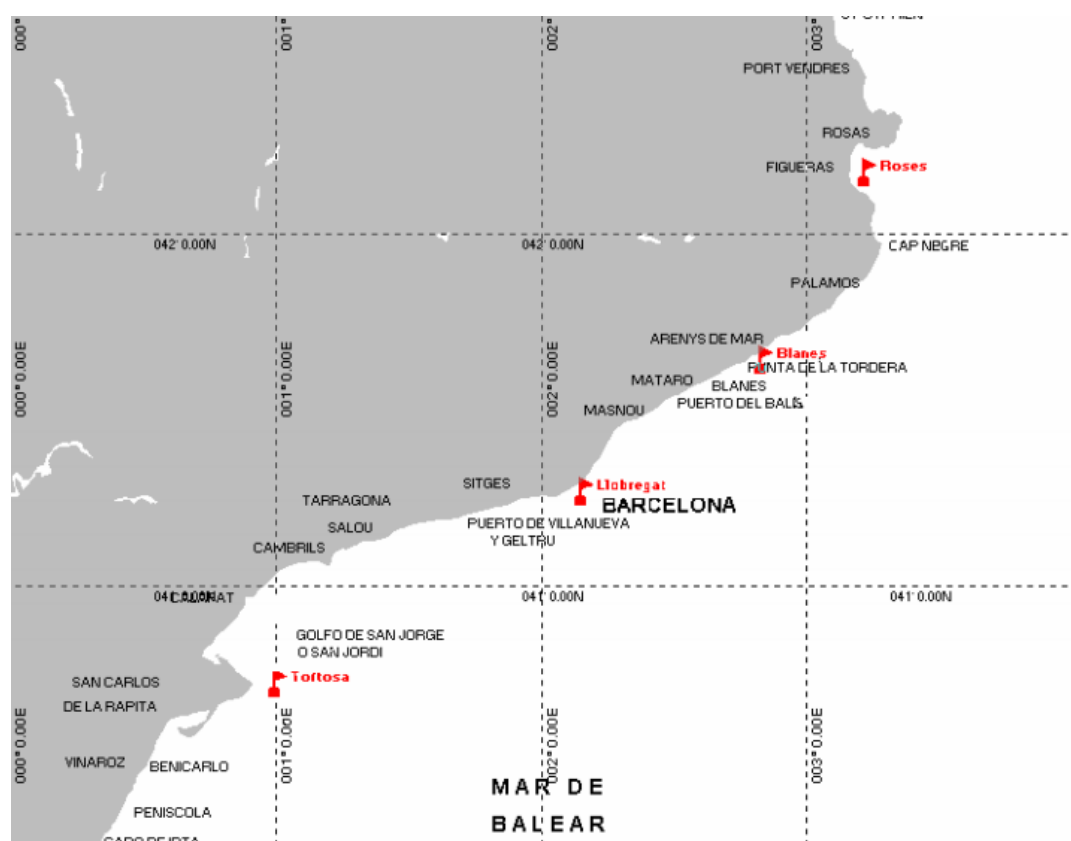


Figura 29. Localització de les boies XIOM.



*Figura 30.* Boia XIOM.

A inicis del 2013, però, la xarxa de boies marines XIOM va deixar de funcionar perquè l'Administració catalana deixà de pagar el seu manteniment durant un llarg període de temps (més d'un any) als tècnics i científics del Laboratori d'Enginyeria Marítima de la Universitat Politècnica de Catalunya que s'encarregaven de la seva gestió. Les boies van ser retirades i desades en un magatzem.



## 5.2. BOIES DE PUERTOS DEL ESTADO

Puertos del Estado és un organisme públic que depèn del Ministeri de Foment del govern d'Espanya i que té la funció d'executar la política portuària. A banda de la coordinació i el control d'eficiència de la gestió del sistema portuari espanyol, integrat per 46 ports d'interès general, realitzen altres funcions d'estudi marítim.

Les més interessants per aquest estudi són les dades que dia rere dia Puertos del Estado obté de l'onatge marí. Davant la costa catalana hi trobem 4 boies: la de Begur, la de Tarragona, la de Barcelona i la de Palamós.

Aquestes boies, al dependre de Puertos del Estado, estan situades en punts estratègics propers als ports més importants. Les zones on es troben situades tenen uns 100 metres de profunditat. Al trobar-se properes a la costa i a poca profunditat, aquestes boies són considerades de caràcter local i, per tant, s'ha de ser prudent a l'utilitzar aquestes dades en zones allunyades de la posició de la boia.



*Figura 31.* Posició de les boies de Puertos del Estado.

La boia de Begur no apareix a la Figura 31 perquè va ser retirada.

### 5.3. PUNTS SIMAR

El conjunt de dades SIMAR-44 està format per series temporals de paràmetres atmosfèrics i oceanogràfics procedents del modelatge numèric. Així doncs, no es tracten de mesures directes, sinó de dades simulades a través d'un ordinador.

Es constitueix a partir del modelatge numèric d'alta resolució d'atmosfera, nivell del mar i onatge. Les dades SIMAR cobreixen tot el litoral espanyol.

Seguidament es dona una breu descripció de la manera en què s'ha generat cada un dels agents simulats.

#### 5.3.1. VENT

Les dades de vent d'aquest conjunt s'han obtingut mitjançant el model atmosfèric regional REMO, forçat per dades de la reanàlisi global NCEP. Aquest reanàlisi assimila dades instrumentals i de satèl·lit. El model REMO s'ha integrat utilitzant una malla de 30' de longitud x 30' de latitud (aproximadament 50Km x 50Km) amb un pas de temps de 5 minuts. Les dades de vent facilitades són mitjanes horàries a 10 metres d'altura sobre el nivell del mar.

A causa de la resolució de la malla utilitzada per integrar el model REMO no és possible reproduir l'efecte d'accidents orogràfics d'extensió inferior a 50Km. Tampoc queden modelats la influència en el vent de processos de convecció d'escala local. No obstant això, el model reproduïx correctament els vents regionals induïts per la topografia com la tramuntana, el mestral... Generalment és més fiable la reproducció de situacions amb vents procedents de mar.

#### 5.3.2. ONATGE

Per generar els camps d'onatge s'ha utilitzat el model numèric WAM. Aquesta aplicació és un model espectral de tercera generació que resol l'equació de balanç d'energia sense establir cap hipòtesi a priori sobre la forma de l'espectre d'onatge. Les dades s'han generat amb una cadència horària. S'ha realitzat descomposició de mar de vent i mar de fons. Per tal de descriure situacions amb mars de fons creuats, s'ha considerat la possibilitat de dues contribucions de mar de fons.

Per a l'àrea mediterrània s'ha utilitzat una malla de espaïament variable amb una resolució de 15 'de latitud x 15' de longitud per a la vora Est de la malla i de 7.5 'de latitud x 7.5' de longitud (aproximadament 12.5Km x 12.5Km ) per a la resta de l'àrea modelada.

El model WAM utilitzat inclou efectes de refracció i somerament. No obstant això donada la resolució del model, es pot considerar menyspreables els efectes del fons. Per tant, per a ús pràctic les dades d'onatge han d'interpretar-se sempre com a dades en aigües obertes a profunditats indefinides.

### 5.3.3. VOLUM DE REGISTRES

Les sèries temporals emmagatzemades al Banc de Dades cobreixen les dades des de l'any 1958, amb una dada cada 3 hores. És a dir, cobreix gairebé 60 anys.

El nombre de punts SIMAR és molt més elevat que el de boies. El fet de no requerir la presència d'una boia (ja que són models numèrics obtinguts per ordinador) fa que no requereix de manteniment "in situ" ni d'infraestructura física, per tant, és molt més barat que mantenir una boia. A la Figura 32 es pot observar la densificació de punts davant de la costa catalana:



*Figura 32.* Punts SIMAR davant de la costa catalana.

Les dades d'onatge del conjunt SIMAR-44 es poden consultar de manera interactiva a la pàgina web de Puertos del Estado. D'altra banda, és possible adquirir tant sèries temporals, com informes climàtics basats en els punts del conjunt SIMAR-44. Per sol·licitar sèries temporals de dades o bé informes climàtics, cal enviar un correu electrònic a l'atenció de la persona responsable.

## 5.4. ELECCIÓ DE LES DADES D'ONATGE

Una vegada estudiades les diverses possibilitats d'obtenció de les dades d'onatge s'ha realitzat una comparativa per tal de discernir quines son les més adequades per al present estudi.

Les boies de Puertos del Estado han estat descartades per el fet de, com s'ha comentat anteriorment, tenir un caràcter més local i focalitzar el seu interès en els ports principals de la costa.

Com que per al present estudi pren molta importància la variació de l'onatge en llargs períodes de temps, s'ha considerat que els punts SIMAR (amb gairebé 60 anys de dades) tenen un recull més extens de dades que les boies XIOM (amb menys de 30 anys de dades).

Per aquest motiu l'elecció ha estat dels punts SIMAR. A més, l'alta freqüència de la presència d'aquests punts permet escollir aquells més propers a les platges objecte d'estudi.

### 5.4.1. DETERMINACIÓ DELS PUNTS SIMAR

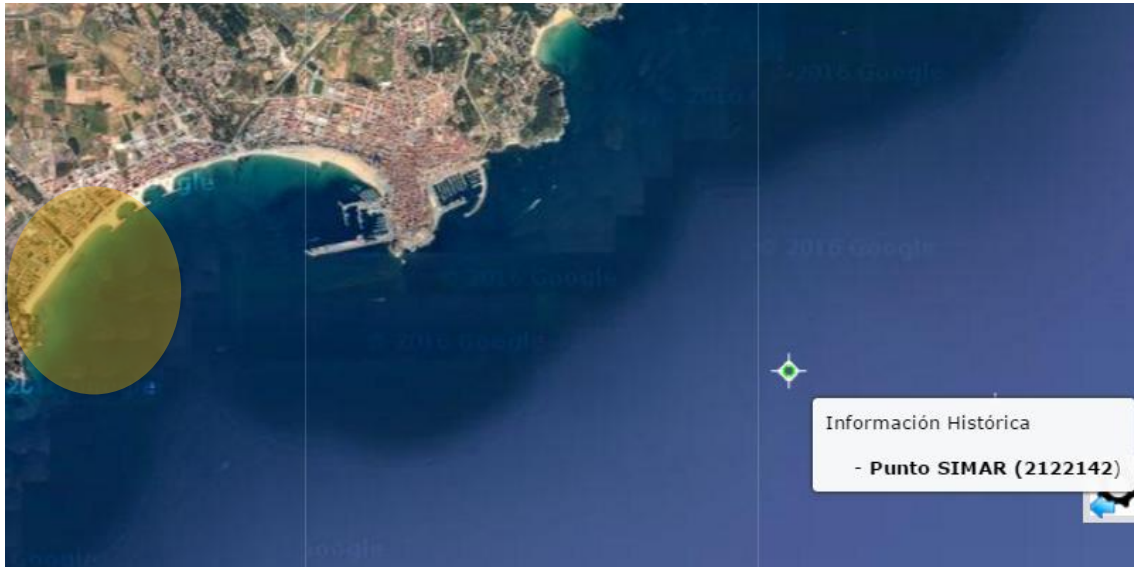
Com que les dades d'onatge dels punts SIMAR han de ser sol·licitades a Puertos del Estado, el primer pas ha estat indicar quins punts SIMAR eren els adequats per a l'estudi de cada una de les tres platges escollides.

Per les platges de Lloret i de Fenals el punt SIMAR més proper és el 2118140 (veure Figura 33).



*Figura 33.* Platges de Fenals i de Lloret (indicades amb un cercle) i punt SIMAR 2118140, el més proper.

Per altra banda, la platja de Torre Valentina té com a punt SIMAR més proper el SIMAR 2122142 (veure a la Figura 34).



*Figura 34.* Platja de la Torre Valentina (indicades amb un cercle) i punt SIMAR 2122142, el més proper.

#### 5.4.2. SOL·LICITUD DE LES DADES

Una vegada determinats els punts SIMAR s'ha realitzat la sol·licitud a Puertos del Estado per a l'obtenció de tot el registre de dades històriques d'aquests punts. Per realitzar la sol·licitud cal omplir un formulari on s'ha d'indicar a què es destinarà la informació obtinguda (el seu ús està delimitat a projectes d'investigació). Les dades van ser rebudes després d'un curt període de temps.

## 5.5. ANÀLISI DE LES DADES

A continuació es realitza un anàlisi inicial de les dades que contenen els arxius rebuts:

- Any del registre. S'inicien l'any 1958 i, al realitzar la sol·licitud el desembre de 2014, acaben a finals de 2014.
- Mes del registre. Serà útil per a l'estudi de l'estacionalitat de l'onatge.
- Dia del registre.
- Hora del registre. Obtenim un registre cada 3 hores.
- Hm0. Altura significant Espectral (m).
- Tm02. Període Mitjà Espectral Moments 0 i 2 (s).
- Tp. Període de pic espectral (s).
- DirM. Direcció Mitjana de PROCEDÈNCIA del l'Onatge (0=N,90=E).
- Hm0\_V. Mar de vent: Altura Significant Espectral (m).
- DirM\_V. Mar de vent: Direcció Mitjana de PROCEDÈNCIA (0=N,90=E).
- Hm0\_F1. Mar de Fons 1: Altura Significant Espectral (m).
- Tm02\_F1. Mar de Fons 1: Període Mitjà Espectral (s).
- DirM\_F1. Mar de Fons 1: Direcció Mitjana de PROCEDÈNCIA (0=N,90=E).
- Hm0\_F2. Mar de Fons 2: Hm0 (m).
- Tm02\_F2. Mar de Fons 2: Període Mitjà Espectral (s).
- DirM\_F2. Mar de Fons 2: Direcció Mitjana de PROCEDÈNCIA (0=N,90=E).
- VelV. Velocitat Mitjana del Vent (m/s).
- DirV. Direcció Mitjana de PROCEDÈNCIA del Vent (0=N,90=E).
- DADA NULA. És representada per -99.9.



## 5.6. TRACTAMENT DE LES DADES

El nombre de registres a cada un dels punts SIMAR, comptant que tenim un registre cada 3 hores i que les primeres dades son de 1958, és superior a 167.000. Per tant, el tractament d'aquestes dades no es pot fer registre a registre i s'haurà d'utilitzar la programació per tal de poder avaluar-les i utilitzar-les.

El programari escollit per al tractament de les dades és MATLAB, que és un entorn de computació numèrica i un llenguatge de programació. Creat per la companyia MathWorks, MATLAB permet manipular fàcilment matrius, dibuixar funcions i dades, implementar algorismes, crear interfícies d'usuari, i comunicar-se amb altres programes en altres llenguatges.

## 6. METODOLOGIA

### 6.1. CONDICIONS DE L'ESTUDI

Malgrat la línia de costa de les platges de l'estudi presenti variacions al llarg d'un període temporal i que presenti una forma parabòlica i principalment recolzada sobre un dels dos extrems s'ha assumit per a la simplificació dels càlculs i de l'estudi en general que aquesta línia és paral·lela a la línia de costa inicial i a les línies batimètriques.

## 6.2. ONATGE REPRESENTATIU

Per tal d'avaluar l'onatge incident a les platges seleccionades caldrà fer un tractament de les dades obtingudes. El més interessant per a l'estudi serà l'obtenció de la suma vectorial de l'onatge. Fixem com a mòdul l'altura d'ona  $H_{m0}$  i com a angle la direcció mitjana de procedència de l'onatge  $DirM$ . Si es realitza una suma vectorial dels 167.000 registres obtenim un mòdul i un angle resultant de l'onatge al llarg dels gairebé 60 anys de registres.

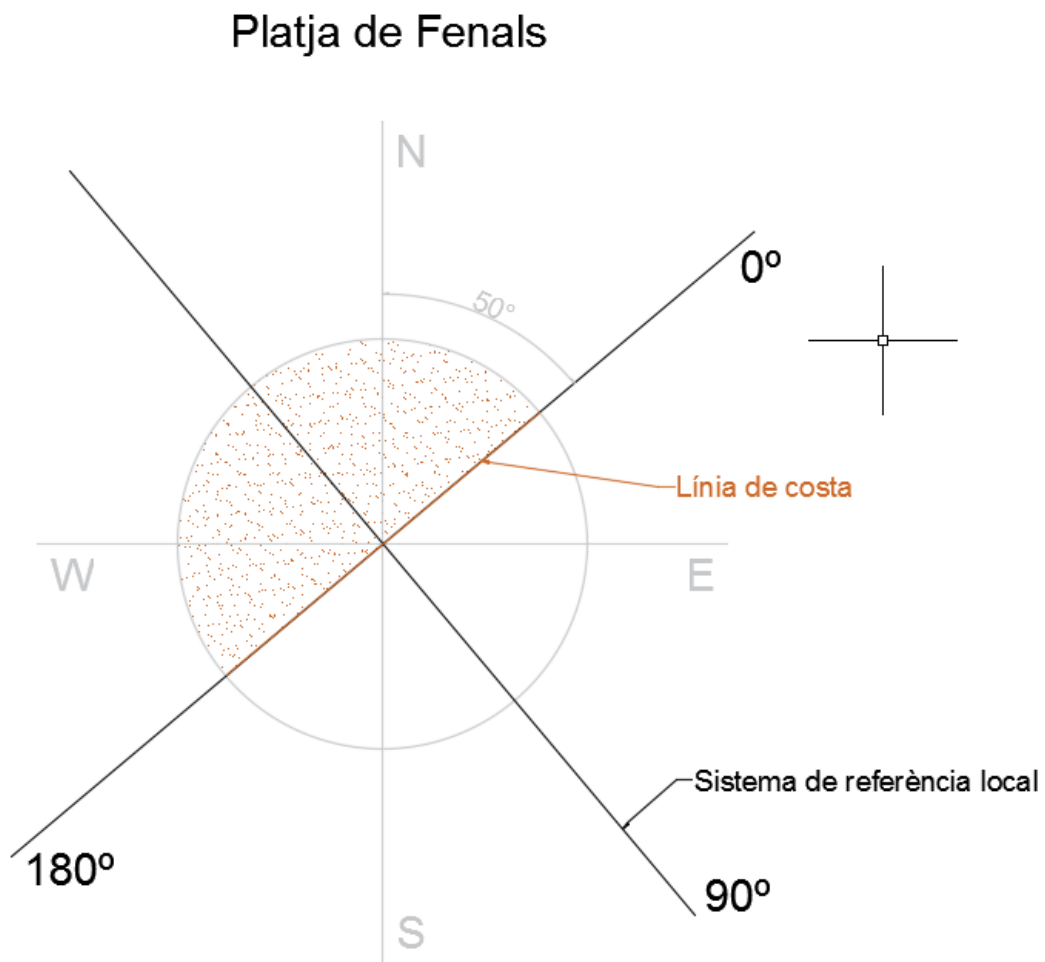
Per tal d'obtenir el vector resultant s'ha creat una funció de MATLAB que permetés el càlcul instantani d'aquest malgrat l'alt volum de dades entrants.

Així, els registres de cada un dels punts SIMAR s'han introduït a MATLAB en forma de matriu, en què cada una de les files és un registre temporal i les columnes corresponen a les diferents dades obtingudes a cada registre.

Inicialment s'ha realitzat la suma vectorial de totes les dades de cada un dels registres. Un cop fixades  $H_{m0}$  com l'altura d'ona i  $DirM$  la direcció mitjana de procedència de l'onatge s'ha procedit a l'execució del càlcul.

### 6.3. SISTEMA DE REFERÈNCIA

Per a un còmode treball totes les funcions que es presenten en el present estudi tenen els resultats referits a eixos locals, és a dir, els valors dels angles d'onatge obtinguts són als eixos normals a la platja. En les Figures 35, 36 i 37 es pot veure la representació gràfica per cada una de les tres platges de l'estudi.



*Figura 35.* Eixos locals de la platja de Fenals.

## Platja de Lloret

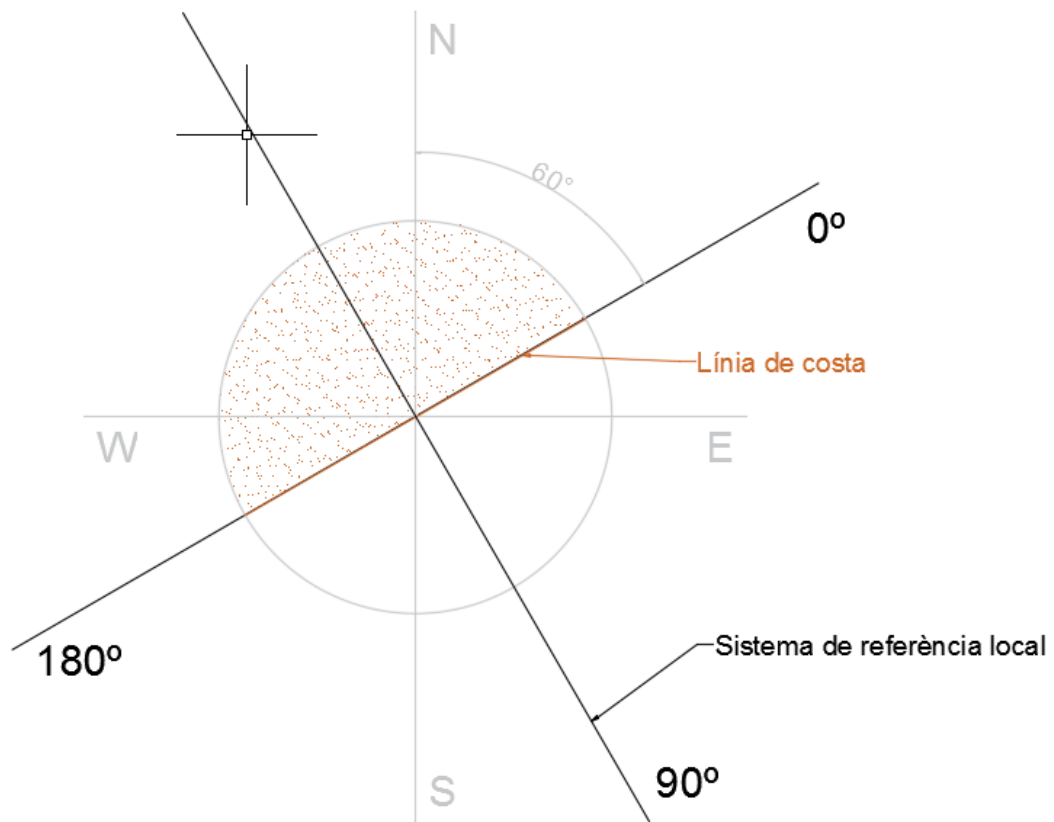
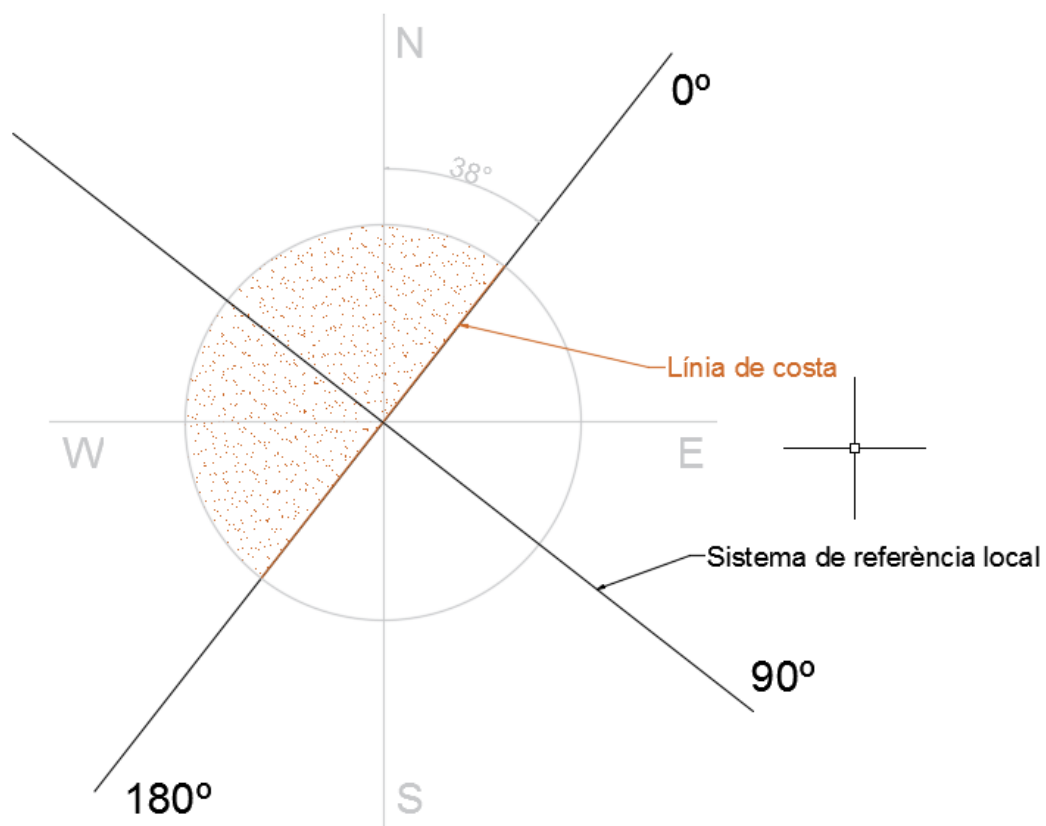


Figura 36. Eixos locals de la platja de Lloret.



## Platja de la Torre Valentina



*Figura 37.* Eixos locals de la platja de la Torre Valentina.

## 6.4. PROGRAMACIÓ

S'ha creat la següents funció de programació per tal d'obtenir la suma vectorial:

```
function [Vector progressiu] = Vector_progressiu any Hm0(A, angleplatja)
%Vector_progressiu
% Funció per a calcular el vector progressiu
Hm0=A(:,5);
DirM=A(:,8);
DMat=(90-DirM).*pi/180;
X=cos(DMat).*Hm0;
Y=sin(DMat).*Hm0;
SumX=cumsum(X);
SumY=cumsum(Y);
SX=sum(X);
SY=sum(Y);
if SX>=0
    Angle=90-atan(SY/SX)*180/pi-angleplatja
    Modul=sqrt(SX^2+SY^2)
elseif SY<0
    Angle=270-atan(SY/SX)*180/pi-angleplatja
    Modul=sqrt(SX^2+SY^2)
end
x=[0 cos(Angle*pi/180)*Modul];
y=[0 sin(Angle*pi/180)*Modul];
plot(x,y)
end
```

Figura 38. Captura corresponent a la funció del programari Matlab

S'ha anomenat A a la matriu de valors del punt SIMAR corresponent, que en la seva 5a columna conté els valors de Hm0 en metres, en la seva 7a els valors de període de pic espectral en segons (Tp) i en la seva 8a la DirM en graus.

“angleplatja” és el valor en graus de l'angle de la platja respecte al nord.

Una vegada executada la funció s'obté el valor de la suma vectorial per a tots els registres del punt SIMAR.

## 6.5. ENERGIA I FLUX D'ENERGIA

L'energia d'un sistema d'onatge és la suma de l'energia cinètica (deguda a la velocitat de les partícules associada al moviment de les ones) i l'energia potencial (resultant de la part de la massa de fluid situada per sobre del nivell mig). L'energia d'una ona és proporcional al quadrat de l'altura d'ona.

L'acció de l'onatge és un dels causants del transport longitudinal de sediments que es produeix paral·lel a la línia de costa i principalment a la zona de ruptura d'onatge. La component longitudinal del flux d'energia en la zona de trencament és l'encarregada del transport de sediments longitudinal. El flux d'energia és la velocitat a la que l'energia d'una ona es transmet en la direcció de propagació de l'onatge a través d'un pla perpendicular a la direcció de propagació. És proporcional al quadrat de l'altura d'ona multiplicat per el període  $T_p$ .

Com que el transport de sediments i, per tant, la modificació de la línia de costa, es produeix en funció del flux d'energia a la zona de trencament s'ha realitzat també l'estudi de les sumes vectorials en funció de l'energia i el flux d'energia per poder-les comparar amb les d'altura d'ona obtingudes anteriorment.

## 6.6. PERÍODE D'HIVERN

Al llarg de la costa catalana s'observa que l'onatge presenta una altura d'ona més elevada a l'hivern, tendència que desapareix en els mesos d'estiu. La majoria dels temporals que es produeixen i afecten a la costa catalana es troben situats en l'espai temporal que s'inicia el 15 de setembre i finalitza el 15 d'abril.

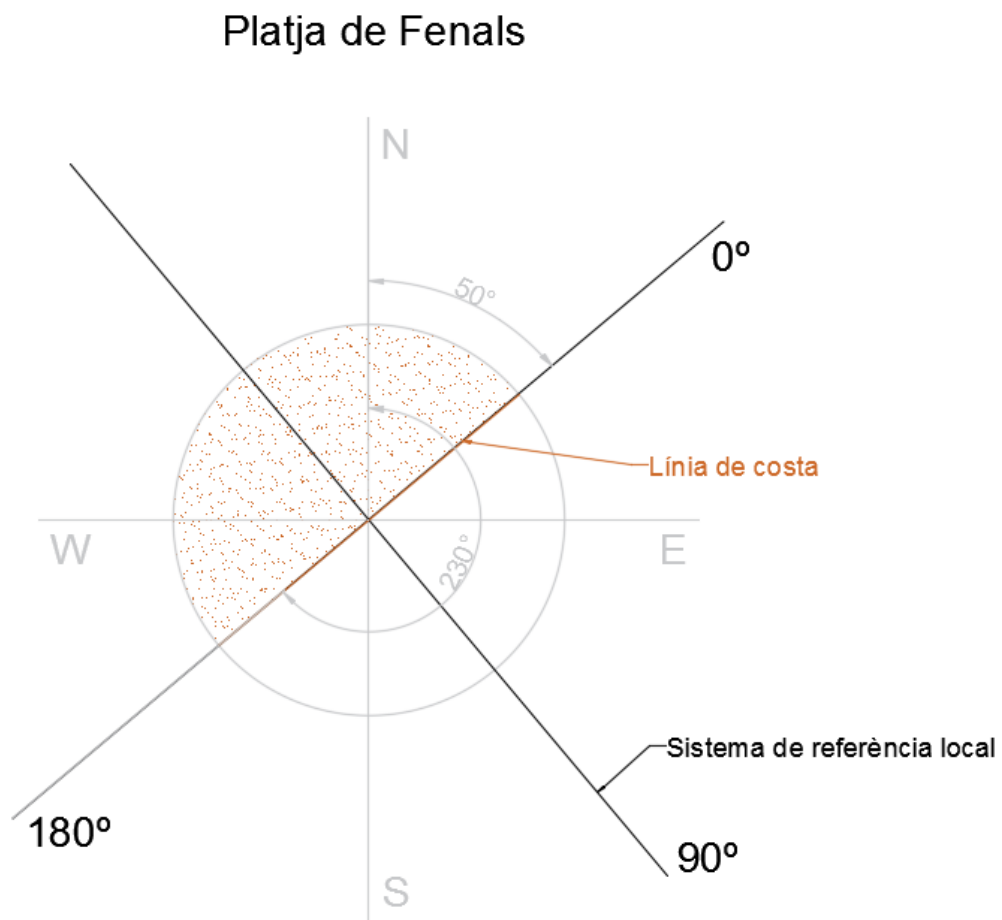
Per això en aquest estudi s'ha discernit entre període anual i període d'hivern, quedant aquest definit entre les dues dates expressades anteriorment. D'aquesta manera es podrà realitzar una comparativa entre els dos períodes.

## 6.7. RESTRICCIÓ D'ANGLES DE L'ONATGE INCIDENT

Per a una correcta realització l'estudi del transport longitudinal només s'hauria de tenir en compte aquell onatge que incideixi directament sobre la platja, l'únic realment capaç de transportar sediment. El ventall d'angles a seleccionar per cada una de les platges és el següent:

### 6.7.1. PLATJA DE FENALS

DirM (Direcció Mitjana de procedència de l'onatge (0=N,90=E)) entre 50° i 230°.

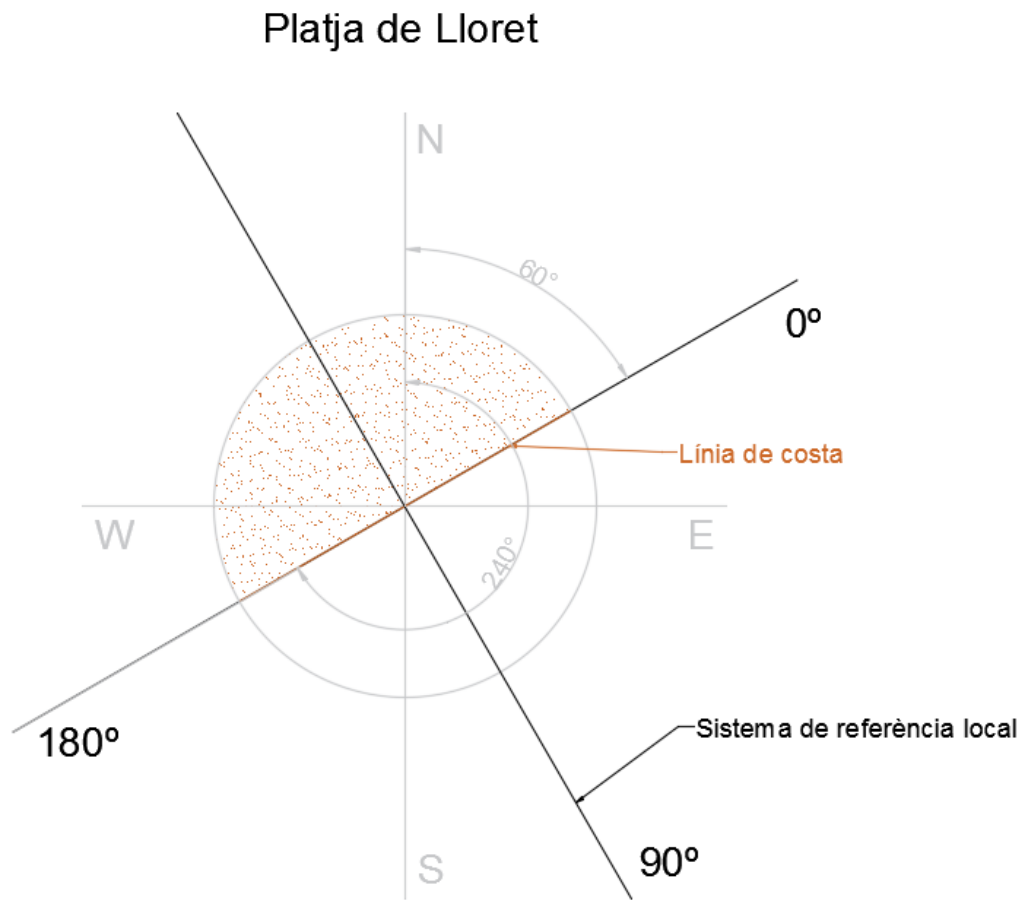


*Figura 39.* Restricció d'onatges a la Platja de Fenals.



### 6.7.2. PLATJA DE LLORET

DirM (Direcció Mitjana de procedència de l'onatge (0=N,90=E)) entre 60º i 240º.



*Figura 40.* Restricció d'onatges a la Platja de Lloret.

### 6.7.3. PLATJA DE LA TORRE VALENTINA

DirM (Direcció Mitjana de procedència de l'onatge (0=N,90=E)) entre 38º i 218º.

#### Platja de la Torre Valentina

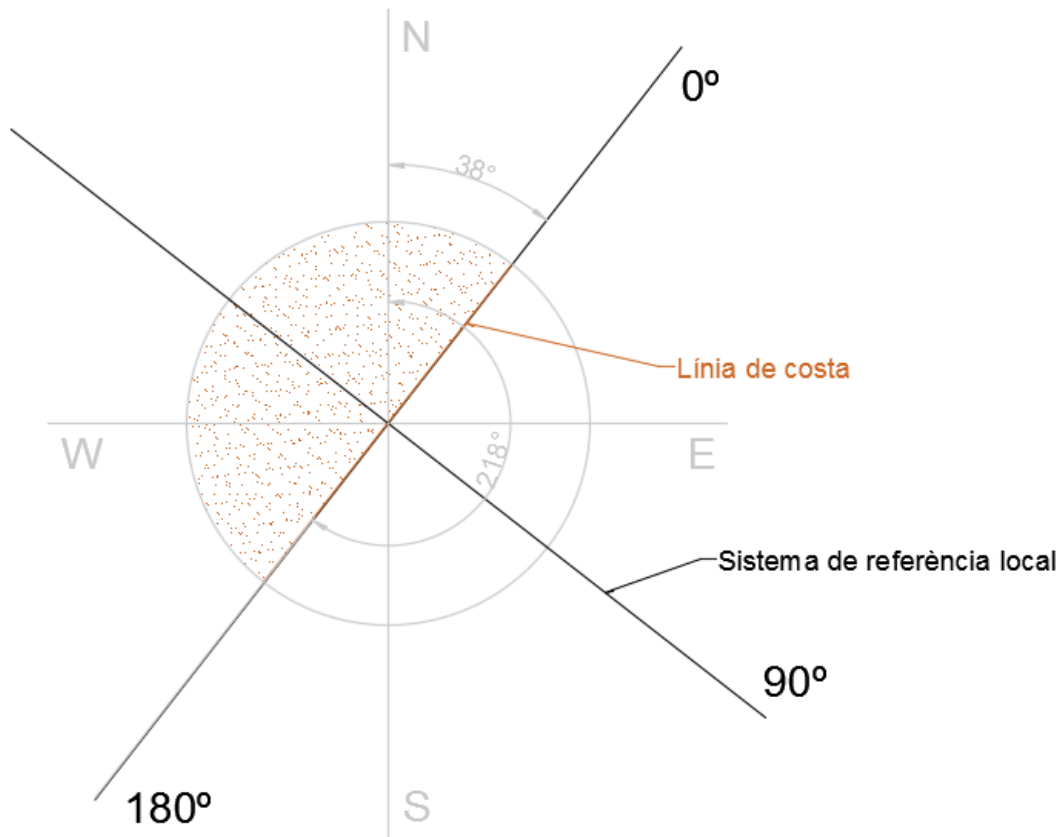


Figura 41. Restricció d'onatges a la Platja de la Torre Valentina.

## 6.8. ONATGE INCIDENT PER ANYS

El moviment de basculació de les platges d'estudi es produeix, tal i com s'ha explicat anteriorment, per la variació de la component longitudinal de l'onatge incident al llarg de diversos períodes de temps.

Per tant, per detectar com afecten les variacions de l'onatge incident en la rotació de les platges caldrà aplicar l'estudi realitzat anteriorment a períodes de temps per tal d'obtenir resultats de la suma vectorial any a any per així poder avaluar la variació de la suma vectorial i, per tant, del mòdul i angle de l'onatge incident al llarg d'un any.

El període de temps escollit és, doncs, l'any natural. S'han creat noves funcions de Matlab per tal de poder obtenir aquests resultats. En la Taula 3 es poden observar totes les funcions desenvolupades fins el moment en funció de tots els criteris que s'han anat descrivint:

|                    |                         | Període anual           |         |      | Període d'hivern |         |      |    |
|--------------------|-------------------------|-------------------------|---------|------|------------------|---------|------|----|
|                    |                         | Altura                  | Energia | Flux | Altura           | Energia | Flux |    |
| Aigües fondes (Ho) | Sense restricció angles | Suma vectorial total    | 1       | 2    | 3                | 4       | 5    | 6  |
|                    |                         | Suma vectorial per anys | 7       | 8    | 9                | 10      | 11   | 12 |
|                    | Amb restricció angles   | Suma vectorial total    | 13      | 14   | 15               | 16      | 17   | 18 |
|                    |                         | Suma vectorial per anys | 19      | 20   | 21               | 22      | 23   | 24 |

Taula 3. Funcions de Matlab desenvolupades fins el moment.

## 6.9. PROPAGACIÓ DE L'ONATGE FINS A L'ALTURA DE TRENCAMENT

Per la realització d'aquest estudi s'han utilitzat dades obtingudes a alta mar (aigües fondes). Per a poder treballar-hi i ser aplicades en l'estudi del litoral aquestes dades han de ser propagades fins a la costa. En concret, fins a l'altura de trencament.

### 6.9.1. ALTURA DE TRENCAMENT

El final de la propagació de l'onatge es produeix en el trencament d'aquest, i consisteix en la dissipació de l'energia de l'ona provocant una turbulència en un calat en que la interacció de l'ona amb el fons provoca que aquesta trenqui. S'assumeix com a altura de trencament de l'onatge  $h$  a la profunditat a la que es troba situat el punt de trencament de la barrera natural o artificial limitadora de la platja. Les altures de trencament han estat determinades anteriorment en l'estudi de cada una de les platges seleccionades, i coincideix amb l'altura de trencament indicada al Llibre Verd.

### 6.9.2. PROCESSOS DE PROPAGACIÓ

Els principals processos que intervenen en el procés de propagació de l'onatge són el shoaling, la refracció, la difracció, la reflexió i el trencament:

- El shoaling consisteix en canvis en les característiques de l'onatge, sobretot de l'altura d'ona, degut a variacions de profunditat.
- La refracció consisteix en canvis en l'altura i direcció d'ona degut a diferències de celeritat entre els punts del front de la pròpia ona, degut a fons irregular, presència de corrents o incidència obliqua.
- La difracció, com la refracció, consisteix en canvis en l'altura i direcció d'ona, però en aquesta ocasió degut a diferències d'altura entre els punts del front de la pròpia ona, degut a fons irregular o presència d'obstacles.
- La reflexió provoca la superposició de l'onatge incident i de l'onatge reflectit per la presència d'un obstacle. Com que l'energia rebota en l'obstacle es produeix la reflexió de l'onatge.
- El trencament de l'onatge consisteix en la dissipació de l'energia de l'ona amb una gran turbulència.

### 6.9.3. TEORIA LINEAL DE L'ONATGE

Per al càlcul de la propagació de l'onatge farem ús de la teoria lineal de l'onatge:

$$H_h = H_{m0} * K_s * K_r$$

on:

$H_h$  – Altura d'ona en aigües someres  
 $H_{m0}$  – Altura d'ona en aigües profundes  
 $K_s$  – Coeficient de shoaling  
 $K_r$  – Coeficient de refracció

Per obtenir el coeficient de shoaling  $K_r$  apliquem la següent expressió:

$$K_r = \sqrt{\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha}}$$

on:

$\alpha_0$  – Angle entre la direcció de l'onatge i la línia de costa a aigües fondes  
 $\alpha$  – Angle entre la direcció de l'onatge i la línia de costa a aigües somes

Per tal de determinar l'angle entre la direcció de l'onatge i la línia de costa en aigües somes cal aplicar la llei de Snell:

$$\frac{L}{L_0} = \frac{\sin \alpha}{\sin \alpha_0}$$

on:

$L$  – Longitud d'ona a aigües someres  
 $L_0$  – Longitud d'ona a aigües profundes

La longitud d'ona a aigües profundes és:

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi}$$

on:

$T$  – Període d'ona

La longitud d'ona a aigües someres és:

$$L = L_0 * \tanh\left(\frac{2\pi}{L} * h\right)$$

on:

$h$  – Profunditat de trencament

Per tal de resoldre aquesta equació i trobar el valor de la longitud d'ona en aigües someres cal iterar fins obtenir una diferència menor a 1 cm.



Una vegada obtinguda la longitud d'ona en aigües somes ja es pot obtenir a partir de la Llei de Snell l'angle a aquesta altura i, per tant, el coeficient de refracció (que es trobarà sempre entre 0 i 1).

La longitud d'ona en aigües profundes serà sempre superior a la longitud d'ona en aigües somes.

Per altra banda, el coeficient de Shoaling es calcula a partir de la següent expressió:

$$K_s = \sqrt{\frac{Cg_o}{Cg}}$$

on:

$Cg$  – Celeritat del grup a aigües somes  
 $Cg_o$  – Celeritat del grup a aigües fondes

La celeritat del grup a aigües fondes es pot calcular com:

$$Cg_o = \frac{gT}{4\pi}$$

Per obtenir el valor de la celeritat del grup a aigües somes l'equació a resoldre no és tan senzilla:

$$Cg = c * n$$

on:

$$c = \frac{L}{T}$$

i:

$$n = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{2kh}{\sinh(2kh)} \right)$$

$$k = \frac{2\pi}{L}$$

D'aquesta manera obtenim l'altura d'ona a la profunditat de trencament.

L'altura d'ona serà superior a aigües profundes que a la zona de costa.

#### 6.9.4. PROPAGACIÓ. PROGRAMACIÓ.

Per aplicar aquesta propagació a cada un dels més de 167.000 registres del punt SIMAR s'ha generat noves funcions en llenguatge de programació que introduint els valors a aigües fondes d'altura d'ona, direcció de l'onatge i període (dades obtingudes a partir del punt SIMAR), altura de trencament i orientació de la platja; obtenim direcció de l'onatge i altura d'ona a aigües somes, sempre en els eixos locals a la platja.

Així doncs, a partir de les 24 funcions presentades anteriorment a la Taula 3 s'obtenen 24 noves funcions que ens permeten obtenir la propagació de l'onatge en funció de tots els paràmetres indicats anteriorment.

A la Taula 4 es mostren les funcions 25-48, les corresponents a la propagació de l'onatge:

|                                  |                         |                            | Període anual |         |      | Període d'hivern |         |      |
|----------------------------------|-------------------------|----------------------------|---------------|---------|------|------------------|---------|------|
|                                  |                         |                            | Altura        | Energia | Flux | Altura           | Energia | Flux |
| Propagades, aigües costeres (Hh) | Sense restricció angles | Vector progressiu total    | 25            | 26      | 27   | 28               | 29      | 30   |
|                                  |                         | Vector progressiu per anys | 31            | 32      | 33   | 34               | 35      | 36   |
|                                  | Amb restricció angles   | Vector progressiu total    | 37            | 38      | 39   | 40               | 41      | 42   |
|                                  |                         | Vector progressiu per anys | 43            | 44      | 45   | 46               | 47      | 48   |

*Taula 4.* Funcions de Matlab desenvolupades per a la propagació de l'onatge fins a aigües somes.

Totes aquestes 48 funcions es poden trobar adjuntades a "Annex 01. Funcions per al càlcul dels resultats".

## 6.10. SELECCIÓ DELS CRITERIS I AVALUACIÓ DE LA BASCULACIÓ

Per a la realització d'una última avaluació de la possible basculació de les platges es procedeix a efectuar un darrer anàlisi amb les següents característiques:

- Les sumes vectorials any a any per tal de poder determinar si existeix variació de sentit en la component longitudinal de la incidència de l'onatge.
- Amb els valors propagats a aigües someres, ja que s'està treballant en la incidència de l'onatge sobre la línia de costa.
- Amb restricció d'angles, considerant només els registres amb angles que incideixin sobre cada una de les platges.
- En funció del flux d'energia, responsable del transport longitudinal de sediments en les platges.
- En període d'hivern, període en que el flux d'energia és sensiblement superior que a la resta de l'any.

Per avaluar segons tots aquests criteris la funció escollida és la 48 de la Taula 4.

## 6.11. DADES D'ONATGE FUTUR

Per poder avaluar els canvis de l'onatge incident a les platges és necessari un model que ens permeti fer-ho. Les dades que s'han utilitzat per al present estudi són els registres d'onatge de Piero Waves.

L'avaluació s'ha realitzat tenint en compte el clima de les onades al litoral català sota un escenari de canvi climàtic. Aquest escenari considera una concentració de CO<sub>2</sub> a l'atmosfera prop de 1.250 ppm a l'any 2100, que és el doble que la de qualsevol altre escenari del Cinquè Informe d'Avaluació. La cadena de modelatge comprèn el següent conjunt de models numèrics:

En primer lloc, la CMCC-CM Model Global de Circulació (GCM), proporciona les condicions de contorn per al Model Regional de Circulació (RCM) COSMO-CLM. La reixeta de RCM, que té una resolució de 0.125° × 0.125°, s'estén per tota la regió mediterrània i les dades de vent serveixen com a entrada per al WAM ([88]) Model d'ona amb un domini analògic i resolució espacial. En els tres models, les projeccions van de 1950 a 2100.

Cada un dels nodes de la malla conté la següent informació:

- Any del registre. S'inicien l'any 1950 i l'últim valor és de l'any 2100.
- Mes del registre. Serà útil per a l'estudi de l'estacionalitat de l'onatge.
- Dia del registre.
- Hora del registre. Obtenim un registre cada hora.
- Hm0. Altura significant Espectral (m)
- Tp. Període de pic espectral (s)
- DirM. Direcció Mitjana de PROCEDÈNCIA del l'Onatge (0=N,90=E)
- Components direccionals del vent.

En tractar-se d'un estudi de la zona costanera els nodes seran de la malla de més resolució, ja que així ens aproparem més a la zona d'estudi. Els nodes escollits són els següents:

|                        | Node | Longitud | Latitud  |
|------------------------|------|----------|----------|
| <b>Fenals</b>          | 6    | 3,000°E  | 41,693°N |
| <b>Lloret</b>          | 6    | 3,000°E  | 41,693°N |
| <b>Torre Valentina</b> | 4    | 3,250°E  | 42,052°N |

Taula 5. Nodes escollits per cada una de les platges.

Altra vegada les platges de Lloret i Fenals comparteixen nodes degut a la seva proximitat geogràfica.

## 7. RESULTATS

### 7.1. ONATGES REPRESENTATIUS PER PERÍODE ANUAL, ALTURA D'ONA, A AIGÜES PROFUNDES I SENSE RESTRICCIÓ D'ANGLES

#### 7.1.1. PLATJA DE FENALS

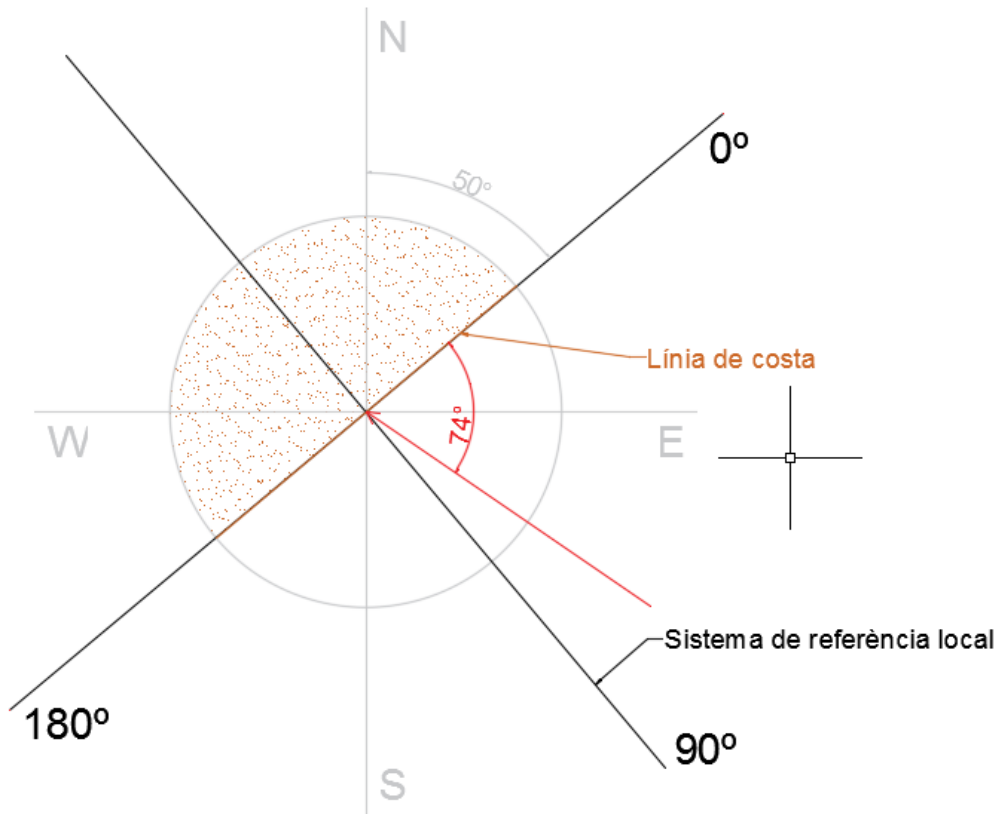
Per al càlcul de la suma vectorial a la platja de Fenals cal tenir en compte les dades facilitades anteriorment en l'estudi: el punt SIMAR corresponent és SIMAR\_2118140 i l'angle de la platja respecte al nord és de 50°.

```
>> A=load('SIMAR_2118140');  
>> angleplatja=50;  
>> Vector_progressiu_anual_Hm0(A,angleplatja)  
  
Angle =  
  
    74.3934  
  
Modul =  
  
    4.8901e+04
```

*Figura 42.* Captura de pantalla exemple durant l'execució de la funció corresponent amb el programari Matlab.

La representació gràfica de la suma vectorial de l'onatge en el punt SIMAR 2118140 respecte a la platja de Fenals és la següent:

## Platja de Fenals



**Figura 43.** Angle d'incidència de l'onatge a la platja de Fenals.

### 7.1.2. PLATJA DE LLORET

Si es du a terme el mateix procediment per a la platja de Lloret s'obtenen els següents angles i mòduls:

Angle = 64,3934°

Mòdul = 48.901



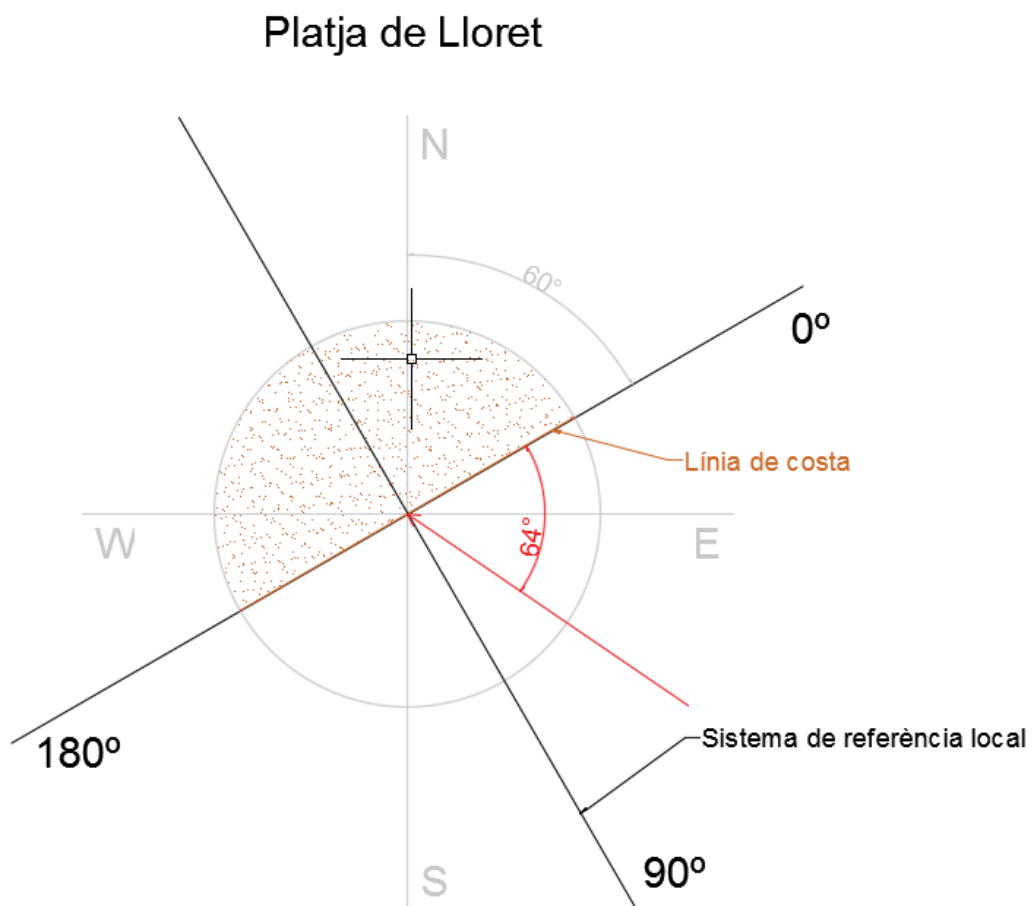


Figura 44. Angle d'incidència de l'onatge a la platja de Lloret.

#### 7.1.3. PLATJA DE LA TORRE VALENTINA

Si es du a terme el mateix procediment per a la platja de la Torre Valentina s'obtenen els següents angles i mòduls:

Angle =  $52,6268^\circ$

Mòdul = 43.810

## Platja de la Torre Valentina

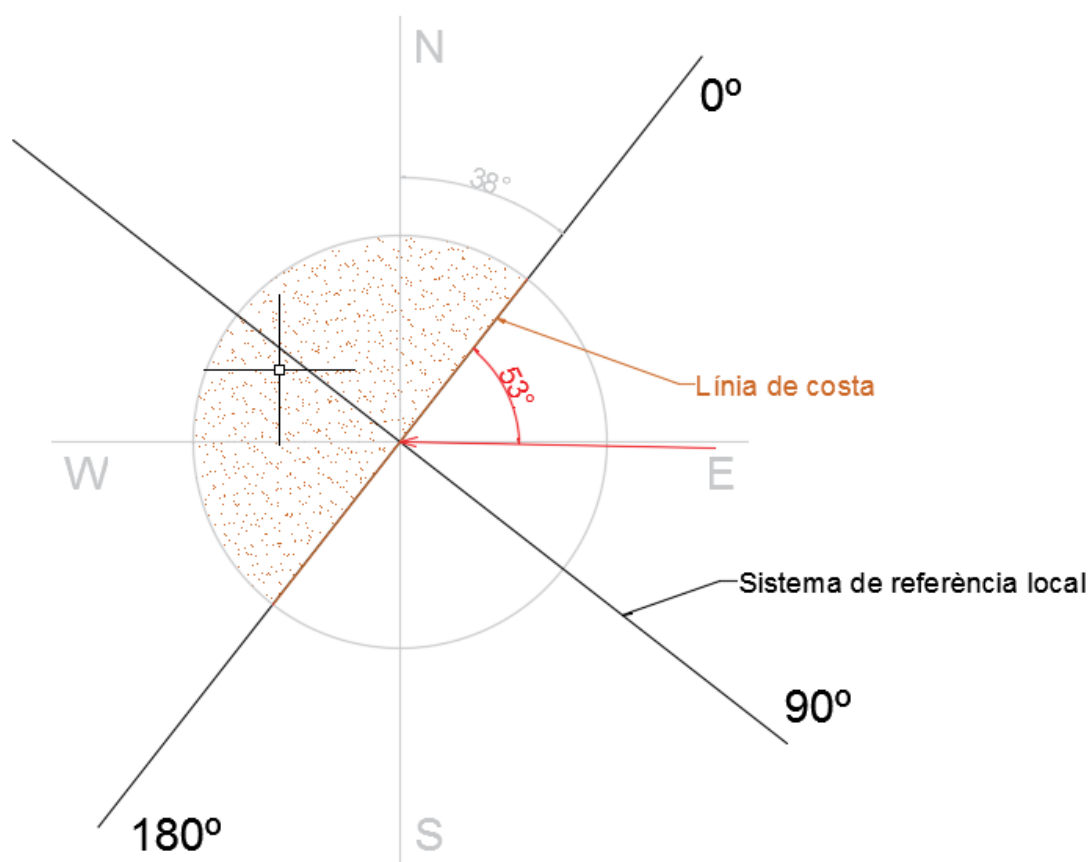


Figura 45. Angle d'incidència de l'onatge a la platja de la Torre Valentina.

Com es pot observar en les gràfiques, l'angle respecte al nord d'incidència de l'onatge és el mateix en les platges de Lloret i de Fenals. La diferència en el valor és deguda als sistemes de referència considerats (10° de diferència). Això succeeix perquè les úniques dades introduïdes fins al moment són les del punt SIMAR i, com s'ha determinat anteriorment, les dues platges comparteixen aquest punt degut a la proximitat de les seves localitzacions.

A la platja de Fenals, degut a una posició més orientada cap a l'est, l'angle d'incidència és força petit, ja que és proper a la normal. Això té dues lectures:

- L'angle d'incidència és proper a la perpendicular de la platja. Per tant, és probable que en diferents períodes de temps aquest canviï el sentit longitudinal respecte a aquesta (és a dir, superar els 90° d'incidència amb certa freqüència i, així doncs, generar un moviment rotacional en els sediments de la platja degut a aquests canvis en la direcció procedent de l'onatge).
- L'angle d'incidència és proper a la perpendicular, provocant que la component longitudinal de l'onatge sigui reduïda. D'aquesta manera, el transport longitudinal de sediments serà menor.

La Platja de la Torre Valentina és la que té una component longitudinal major de les tres platges a estudi. El seu angle de  $53^\circ$  respecte al sistema de referència propi de la platja indica que es podria produir un major transport de sediments. A més, es pot observar que si es treballés amb els eixos cardinals l'angle d'incidència a aquesta platja tindria uns  $30^\circ$  de diferència amb el de les altres dues.

De totes maneres, el mòdul resultant de l'onatge representatiu del període 1958-2014 és menor al de les platges de Lloret i Fenals, tot i que el valor és proper. Això ens indica lleugeres diferències tan pel que fa a direccions com a altura d'ona en les dues zones de la costa catalana estudiades. El patró que segueix l'onatge és similar, però trobem onatges característics per a cada zona.

Aquestes dades són extreptes de l'onatge a aigües profundes. Al ser propagades a aigües costeres aquests angles tendiran més a la perpendicularitat amb la platja (és a dir, la seva component longitudinal serà menor).

## 7.2. ONATGES REPRESENTATIU PER PERÍODE ANUAL, ENERGIA I FLUX, A AIGÜES PROFUNDES I SENSE RESTRICCIÓ D'ANGLES

|   | <i>Fenals</i> |              | <i>Lloret</i> |              | <i>Torre Valentina</i> |              |
|---|---------------|--------------|---------------|--------------|------------------------|--------------|
|   | <b>Mòdul</b>  | <b>Angle</b> | <b>Mòdul</b>  | <b>Angle</b> | <b>Mòdul</b>           | <b>Angle</b> |
| <b>Altura d'ona (H)</b>                 | 48.901        | 74,39        | 48.901        | 64,39        | 43.810                 | 52,63        |
| <b>Energia (H<sup>2</sup>)</b>          | 45.505        | 63,75        | 45.505        | 53,74        | 59.800                 | 39,97        |
| <b>Flux d'energia (H<sup>2</sup>·T)</b> | 349.390       | 56,51        | 349.390       | 46,52        | 487.540                | 35,34        |

Taula 6. Sumes vectorials en funció de l'altura d'ona, l'energia i el flux d'energia.

Com es pot analitzar de la Taula 6 el mòdul de les platges de Fenals i Lloret coincideix. El resultat és coherent, ja que les dades d'entrada per al càlcul del mòdul són bàsicament les dades d'onatge del punt SIMAR, i cal recordar que per ambdues platges hem escollit el mateix punt SIMAR. La diferència, doncs, es dona en l'angle d'incidència pel simple fet d'estar treballant en angles locals, és a dir, amb els eixos normals a cada una de les platges.

Com que la platja de Fenals està orientada respecte al Nord 50° i la de Lloret 60° aquesta diferència de 10° es tradueix en la mateixa diferència en els resultats, tal i com es pot observar.

El mòdul no varia significativament en cap de les platges al treballar amb altura d'ona o amb energia. Els valors de l'altura d'ona són en metres, i al realitzar el quadrat d'aquesta altura d'ona la variació és mínima, ja que com s'ha comentat anteriorment la mitjana de l'altura d'ona d'aquestes platges és de 0,69m (en el cas de Lloret i Fenals) i 0,87m (en el cas de Torre Valentina). Al tractar-se de valors propers al metre, la diferència és mínima.

Aquesta variació mínima és, però, diferent segons les platges. En el cas de les platges de Lloret i Fenals es tracta d'una lleugera disminució d'aquest valor en el cas de treballar amb l'energia enlloc de l'altura d'ona. Si aquesta relació és proporcional al quadrat de l'altura d'ona això vol dir generalment que l'altura d'ona tindrà valors menors a 1 metre en aquestes platges (ja que a l'aplicar-li el quadrat aquest disminueix).

En el cas de la platja de la Torre Valentina, en canvi, el mòdul augmenta al treballar amb l'energia (un 36%, valor no menyspreable). Per tant, habitualment s'han produït valors superiors a un metre d'altura d'ona.

Aquestes dades ens indiquen doncs que en línies generals l'onatge presentarà una major altura d'ona, una major energia i flux d'energia a la zona costera on es troba la platja de la Torre Valentina que en la zona costera de les platges de Lloret i Fenals. Això confirma les dades del Llibre Verd, que parlava d'altures d'ona mitjanes de 0,69m (Fenals i Lloret) i de 0,87m (Torre Valentina, significativament superior).

En canvi, a l'aplicar-hi el període les diferències són més importants (d'un 800%). El període d'ona  $T_p$  està expressat en segons ( $T_p$  mitjà a Lloret i Fenals de 6,2s i de 5,5s a Torre Valentina). Per tant, els valors del mòdul de la suma vectorial amb el flux d'energia són unes vuit vegades

superiors als de l'energia. En aquest cas el mòdul a la platja de la Torre Valentina continua sent superior al de les de Lloret i Fenals.

Pel que fa a l'angle d'incidència de l'onatge en cada una de les tres platges el valor més reduït i, per tant, més longitudinal a la platja, és el del flux d'energia, precisament l'encarregat del transport longitudinal dels sediments. Aquesta reducció és similar en totes les platges, uns 16-18º respecte a l'angle de l'altura d'ona. Al tractar-se d'una reducció gairebé idèntica en totes les platges i tenint en compte els comentaris de l'apartat 7.1, la platja de la Torre Valentina continua sent la que té una major component longitudinal d'incidència de l'onatge.

### 7.3. COMPARACIÓ D'ONATGES REPRESENTATIUS EN FUNCIO DEL PERÍODE (ANUAL O D'HIVERN)

A continuació es presenta la comparativa de la suma vectorial entre el període anual complet i el període d'hivern.

|   | <i>Fenals</i> |         |       |        | <i>Lloret</i> |         |       |        | <i>Torre Valentina</i> |         |       |        |
|---|---------------|---------|-------|--------|---------------|---------|-------|--------|------------------------|---------|-------|--------|
|   | Mòdul         |         | Angle |        | Mòdul         |         | Angle |        | Mòdul                  |         | Angle |        |
|   | Anual         | Hivern  | Anual | Hivern | Anual         | Hivern  | Anual | Hivern | Anual                  | Hivern  | Anual | Hivern |
| <b>Altura d'ona (H)</b>                 | 48.901        | 30.458  | 74,39 | 71,02  | 48.901        | 30.458  | 64,39 | 61,02  | 43.810                 | 29.408  | 52,63 | 50,33  |
| <b>Energia (H<sup>2</sup>)</b>          | 45.505        | 34.443  | 63,75 | 60,60  | 45.505        | 34.443  | 53,74 | 50,60  | 59.800                 | 47.250  | 39,97 | 39,81  |
| <b>Flux d'energia (H<sup>2</sup>·T)</b> | 349.390       | 280.860 | 56,51 | 54,21  | 349.390       | 280.860 | 46,52 | 44,21  | 487.540                | 400.690 | 35,34 | 35,89  |

Taula 7. Sumes vectorials en funció del període anual o d'hivern.

|   | <i>Percentatge que suposa el mòdul d'hivern sobre l'anual</i> |               |                        |
|---|---|---------------|------------------------|
|   | <b>Fenals</b>   | <b>Lloret</b> | <b>Torre Valentina</b> |
| <b>Altura d'ona (H)</b>                 | 62%   | 62%           | 67%                    |
| <b>Energia (H<sup>2</sup>)</b>          | 76%   | 76%           | 79%                    |
| <b>Flux d'energia (H<sup>2</sup>·T)</b> | 80%   | 80%           | 82%                    |

Taula 8. Comparativa dels resultats anuals i d'hivern.



Com es pot veure en la comparativa de la Taula 8, malgrat que el període d'hivern conformi el 58% del temps de l'any (7 dels 12 mesos), el mòdul de la suma vectorial d'aquest període suposa valors superiors (en alguns casos, molt superiors) al del 58% anual. Per tant, és cert que durant el període d'hivern es quan es produirà un major desplaçament dels sediments i, així, una variació més accentuada a la línia de costa.

Els valors del mòdul continuen coincidint en les platges de Fenals i Lloret (i així serà metre les dades d'entrada siguin el punt SIMAR i l'angle de la platja i no s'apliqui la restricció d'onatges incidents en funció de l'angle).

Per començar, analitzant la Taula 8 i prenent com a referència que el període d'hivern compren el 58% del temps anual, s'observa que si es realitza la suma vectorial amb els valors de l'altura d'ona el mòdul en període d'hivern representa un 62% (Fenals i Lloret) i un 67% (Torre Valentina) de l'anual, valor proper al 58% esmentat anteriorment.

Podem observar que el valor del sumatori vectorial del període d'hivern sobre el període anual augmenta sensiblement si s'estudia l'energia o el flux d'energia, responsable del transport longitudinal de sediments. En el cas del flux d'energia representa entre un 80 i un 82% del total anual. Per tant, és notòria la diferència que habitualment es produirà en la variació de la línia de costa durant el període d'estiu i el d'hivern.

La platja de la Torre Valentina és la que presenta una major fracció del mòdul de l'onatge representatiu en període d'hivern però la diferència amb les altres dues és poc significativ.

Una informació interessant que es pot extreure de la Taula 7 és l'augment del mòdul de l'energia sobre el de l'altura d'ona en període d'hivern. Com s'ha comentat a l'apartat 7.2, el mòdul de la suma vectorial disminuïa en les platges de Lloret i Fenals si passàvem de treballar amb l'altura d'ona a l'energia. Això succeïa en el període anual, però en el període d'hivern succeeix el contrari: es produeix un lleuger augment.

Per tant, això significa que durant el període d'hivern en aquesta zona costera serà més habitual que l'altura d'ona sigui superior a un metre i, per tant, superior a la mitjana anual.

A la platja de la Torre Valentina ja es produïa en el període anual un 36% d'augment en aquesta característica, i si només es considera el període d'hivern l'augment és del 62%. Per tant, també augmenten per norma general els valors de l'altura d'ona en el període d'hivern en comparació amb l'anual.

També es produeix en el període d'hivern un lleuger augment de la diferència percentual entre el flux d'energia i l'energia, el que podria indicar que els períodes d'ona augmenten molt lleugerament en aquesta època de l'any.

Pel que fa a l'angle de la suma vectorial la diferència del període d'hivern respecte al període anual és mínima. La incidència de l'onatge és més paral·lela a la línia de costa, és a dir, augmenta la component longitudinal d'aquest, tot i que de forma gairebé insignificant.

Els angles pateixen més variació en el cas de treballar amb l'altura d'ona, amb diferències de 3 a 4 °, mentre que en el cas del flux d'energia la diferència és menor a 2° en el cas de Fenals i Lloret i, com a cas únic, a la platja de la Torre Valentina l'angle augmenta 0,5° en el període d'hivern respecte al total.

Així doncs, les diferències són tan mínimes que es pot concloure que l'aplicació del període d'hivern és útil per la variació en el mòdul de l'onatge representatiu, però no provoca variacions significatives en l'angle d'aquest.

#### 7.4. COMPARACIÓ D'ONATGES REPRESENTATIUS EN FUNCIÓ DE LA RESTRICCIÓ D'ANGLES

S'han desenvolupat noves funcions de programació per tal de realitzar la suma vectorial només amb aquells registres que la seva direcció DirM es troba compresa entre els intervals fixats per cada una de les platges. A la Taula 9 es mostren els resultats obtinguts.

|   | <i>Fenals</i>       |         |                     |       | <i>Lloret</i>       |         |                     |       | <i>Torre Valentina</i> |         |                     |       |
|---|---------------------|---------|---------------------|-------|---------------------|---------|---------------------|-------|------------------------|---------|---------------------|-------|
|   | Mòdul període anual |         | Angle període anual |       | Mòdul període anual |         | Angle període anual |       | Mòdul període anual    |         | Angle període anual |       |
|   | SR                  | AR      | SR                  | AR    | SR                  | AR      | SR                  | AR    | SR                     | AR      | SR                  | AR    |
| <b>Altura d'ona (H)</b>                 | 48.901              | 49.612  | 74,39               | 89,97 | 48.901              | 49.424  | 64,39               | 85,20 | 43.810                 | 45.964  | 52,63               | 97,60 |
| <b>Energia (H<sup>2</sup>)</b>          | 45.505              | 43.989  | 63,75               | 76,84 | 45.505              | 43.116  | 53,74               | 70,79 | 59.800                 | 50.472  | 39,97               | 80,11 |
| <b>Flux d'energia (H<sup>2</sup>·T)</b> | 349.390             | 327.330 | 56,51               | 69,69 | 349.390             | 318.200 | 46,52               | 63,43 | 487.540                | 385.490 | 35,34               | 71,70 |

**SR** – Sense restricció d'angles; **AR** – Amb restricció d'angles

Taula 9. Comparativa dels resultats amb i sense restricció d'angles.

En aquesta ocasió els valors del mòdul i de l'angle de la suma vectorial de les platges de Fenals i de Lloret es desvinculen per primera vegada, ja que a l'establir una restricció d'angles diferent per cada una de les dues platges (degut a la seva diferència d'orientació respecte al nord) els registres considerats en el càlcul varien en funció de la platja. Això sí, al tractar-se d'una diferència de 10º d'orientació, els valors continuen sent similars (de 4 a 6º de diferència en un sistema de referència total). La platja de Fenals, degut a la seva orientació, té un onatge representatiu d'incidència més perpendicular que la de Lloret.

Els valors del mòdul són molt similars amb o sense restricció d'angles, però es produeixen alguns fets a destacar. Un d'ells és que amb la restricció d'angles i treballant segons altura d'ona el mòdul augmenta respecte a les mateixes consideracions però sense restricció d'angles. En canvi, treballant amb l'energia succeeix exactament el contrari: sense restricció d'angles disminueix el valor del mòdul de la suma vectorial. Això succeeix en totes les platges, però és especialment destacat a la platja de la Torre Valentina.

En el flux d'energia es produeix una lleu disminució (entre un 7 i un 9%) en el mòdul de l'onatge representatiu de les platges de Fenals i Lloret. A la platja de la Torre Valentina, però, aquesta disminució és més destacada (d'un 21%).

La restricció d'angles, doncs, elimina una sèrie de registres de dades d'onatge que provoquen aquestes variacions en el mòdul.

Els valors que varien significativament en aquest cas són els de l'angle d'incidència de l'onatge. L'impacte amb la línia de costa és més frontal, és a dir, disminueix la seva component longitudinal, i d'una forma força destacada, sobretot en el cas de la platja de la Torre Valentina.

Per exemple, en la Figura 46 es pot veure la comparativa dels angles d'incidència del flux d'energia a la Platja de la Torre Valentina amb i sense restricció d'angles. L'onatge passa a ser molt menys oblic a la platja i, per tant, disminueix la capacitat de transport longitudinal.

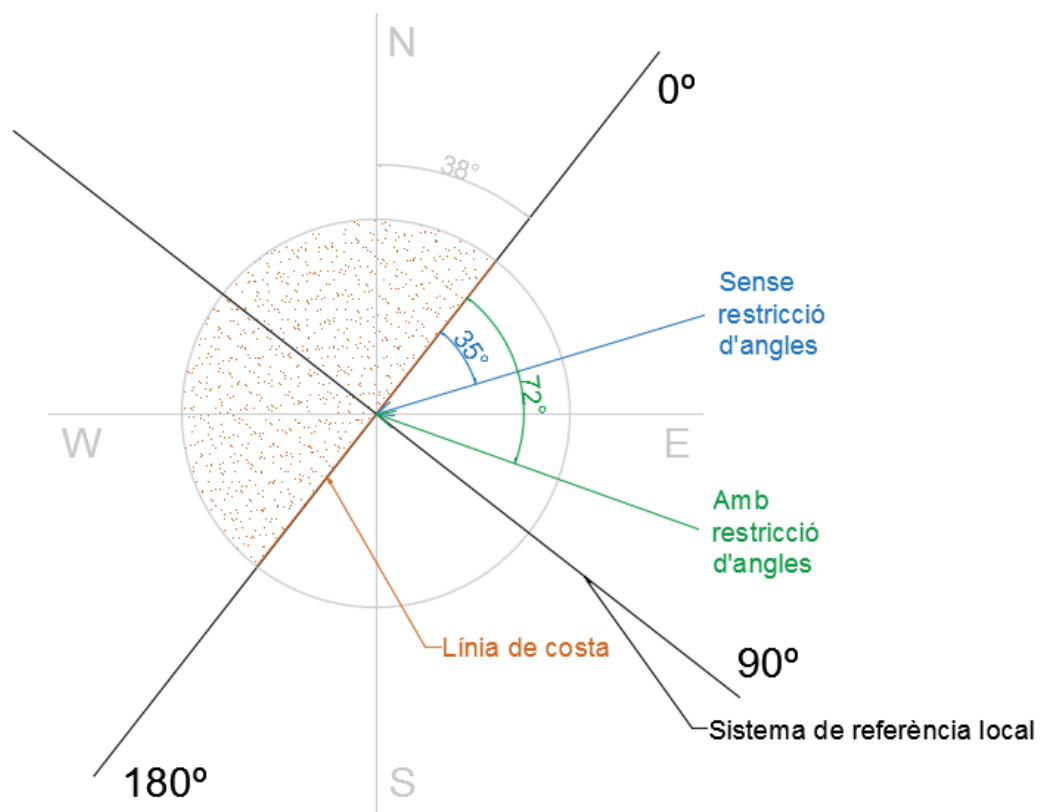
La variació és tan gran en aquesta platja que passa a ser aquella que menys component longitudinal té en l'onatge representatiu en funció del flux d'energia.

Es manté en totes les platges la tendència de disminució de l'angle d'incidència si treballem segons altura d'ona, energia i flux d'energia.

Si es considera l'altura d'ona, els angles obtinguts són molt propers als 90º, i és una tendència molt clara que es pot observar en totes les platges estudiades.

En el cas de considerar l'energia, els angles d'incidència es troben compresos entre els 70 i els 80º.

## Platja de la Torre Valentina



*Figura 46.* Comparativa dels angles d'incidència del flux d'energia a la Platja de la Torre Valentina amb i sense restricció d'angles.

## 7.5. ONATGES ANY A ANY PER PERÍODE ANUAL, PER ALTURA D'ONA I A AIGÜES PROFUNDES

A les Figures 47, 48 i 49 (platges de Fenals, Lloret i la Torre Valentina, respectivament) en blau s'indica el valor de l'angle d'incidència de l'onatge segons la suma vectorial de l'any natural corresponent i en taronja el valor corresponent a un angle d'incidència de 90° (a partir del qual es varia el sentit de la component longitudinal de la incidència de l'onatge i, per tant, la predominança de moviment del sediment envers un dels límits de la platja encaixada o un altre).

Es pot veure que de l'any 2000 al 2004 no existeixen valors i, per tant, la zona de la gràfica es troba sense registres.

Els valors en les tres gràfiques estudiades són similars. Els valors de l'angle d'incidència (en eixos locals a la platja) varien entre 70° i 110° en la immensa majoria de registres.

Per tant, es troben prop de la zona de canvi de sentit longitudinal d'incidència (90°, indicats per la línia taronja). A més, com es pot observar, els valors any a any alternen períodes de diferent durada entre la zona inferior als 90° i la superior a aquesta.

Aquest fet podria confirmar el motiu de la basculació d'aquestes platges: una variació en el sentit longitudinal d'incidència de l'onatge i, per tant, del sentit del transport longitudinal de sediments.

Aquesta alternança es produeix periòdicament cada 2-4 anys habitualment en totes les platges, amb lleugeres diferències entre elles:

- La platja de la Torre Valentina té predominança d'angles superiors a 90°. Com s'ha comentat a l'apartat 7.4, aquesta platja és la que té el valor més elevat d'angle d'incidència de l'onatge representatiu de tot el període 1958-2014 si es considera la restricció d'angles. Per tant, aquesta predominança d'angles superiors a 90° queda reflectida any a any en la Figura 49.
- La platja de Lloret té predominança d'angles inferiors a 90°. Com també ha estat comentat a l'apartat 7.4, aquesta platja és la que té el valor menor d'angle d'incidència de l'onatge representatiu de tot el període 1958-2014 si es considera la restricció d'angles. Per tant, aquesta predominança d'angles inferiors a 90° queda reflectida any a any en la Figura 48.
- La platja de Fenals no té una clara predominança d'angles inferiors o superiors a 90°. Tal i com s'explica a l'apartat 7.4, aquesta platja és la que té un valor d'angle d'incidència de l'onatge representatiu de tot el període 1958-2014 de 89,97° considerant la restricció d'angles. Per tant, és natural que l'estudi any a any no permeti determinar quina és la predominança del sentit de la component longitudinal de l'onatge.

Si s'observen les 3 gràfiques, es pot veure que totes segueixen les mateixes tendències: els pics màxims i mínims de la gràfica coincideixen en els mateixos anys a cada una de les platges. Les platges de Lloret i Fenals són contigües i la de la Torre Valentina es troba situada a 26 km lineals d'aquestes, així que els resultats confirmen que el clima marítim predominant en la zona és similar.



La diferència, doncs, es troba en l'angle d'orientació de les pròpies línies de costa. Això determina si la predominança dels angles és superior o inferior als 90°.

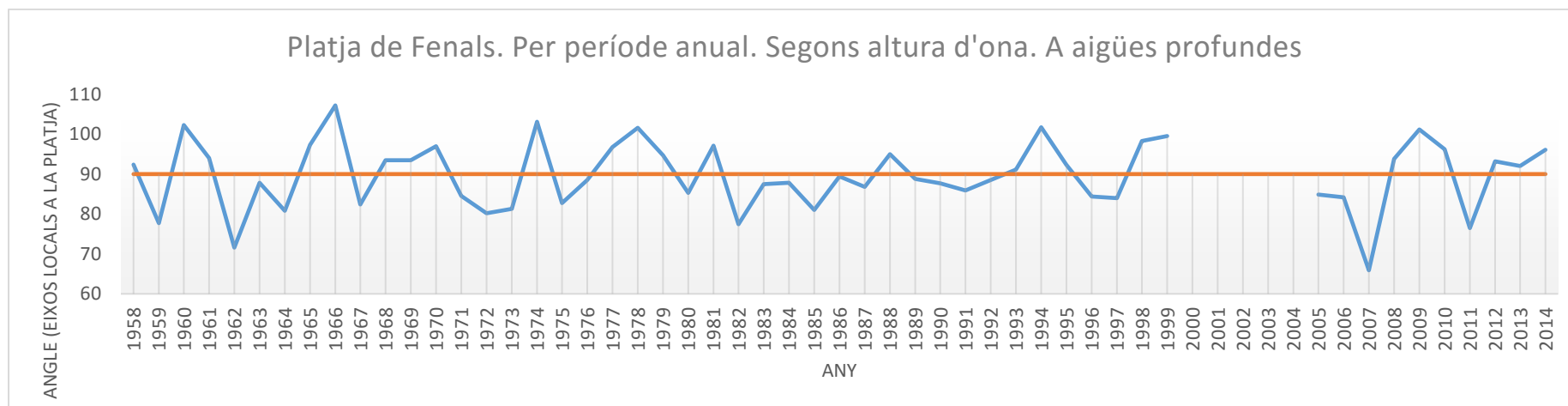


Figura 47. Angles d'incidència any a any de la Platja de Fenals. Per període anual, segons altura d'ona, amb restricció d'angles i a aigües profundes.

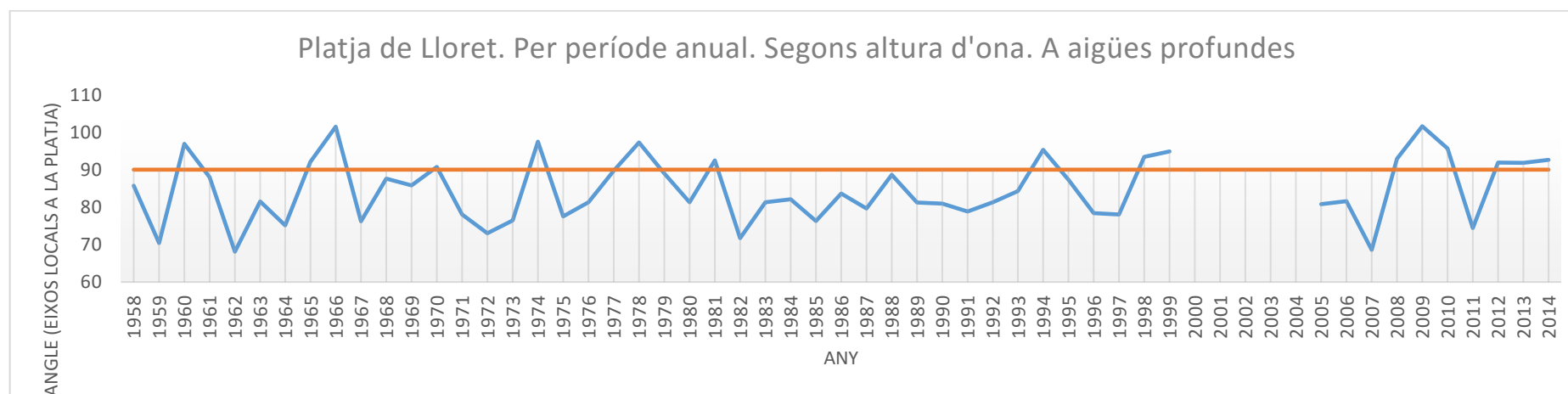


Figura 48. Angles d'incidència any a any de la Platja de Lloret. Per període anual, segons altura d'ona, amb restricció d'angles i a aigües profundes.

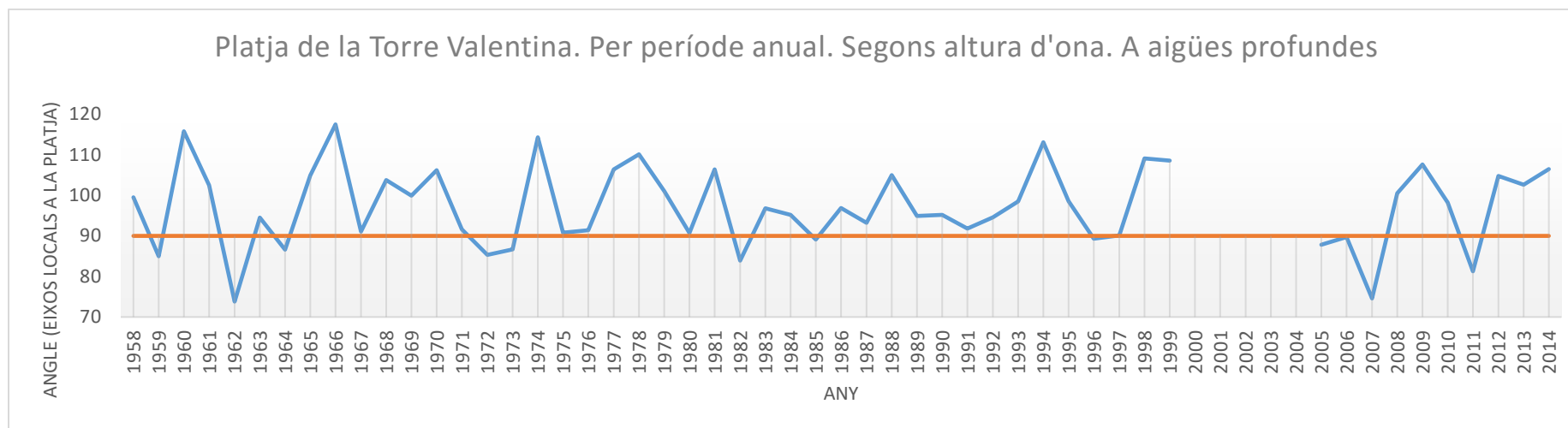


Figura 49. Angles d'incidència any a any de la Platja de Torre Valentina. Per període anual, segons altura d'ona, amb restricció d'angles i a aigües profundes.

## 7.6. ANÀLISI DELS EFECTES DE LA PROPAGACIÓ

Es realitza a continuació una comparativa d'alguns valors de mòdul i angle de la suma vectorial resultant de tots els registres (no any a any) per tal de poder avaluar la presència o no de canvis significatius.

Per començar, s'analitza platja a platja en funció de si es realitza la suma vectorial per altura d'ona, energia o flux d'energia tenint en compte que no s'aplica restricció d'angle i que el període es l'anyal i no el d'hivern.

| <b>Fenals</b>                           |                      |              |                     |              |
|---|----------------------|--------------|---------------------|--------------|
|   | <b>Aigües fondes</b> |              | <b>Aigües somes</b> |              |
|   | <b>Mòdul</b>         | <b>Angle</b> | <b>Mòdul</b>        | <b>Angle</b> |
|   | 48.901               | 74,39        | 67.886              | 84,73        |
|   | 45.505               | 63,75        | 58.070              | 79,38        |
| <b>Altura d'ona (H)</b>                 | 349.390              | 56,51        | 382.210             | 81,14        |
|   |                      |              |                     |              |
|   |                      |              |                     |              |
| <b>Energia (H<sup>2</sup>)</b>          |                      |              |                     |              |
|   |                      |              |                     |              |
|   |                      |              |                     |              |
| <b>Flux d'energia (H<sup>2</sup>·T)</b> |                      |              |                     |              |
|   |                      |              |                     |              |
|   |                      |              |                     |              |

Taula 10. Comparativa dels resultats a aigües somes i aigües fondes de la platja de Fenals.

| <b>Lloret</b>                           |                      |              |                     |              |
|---|----------------------|--------------|---------------------|--------------|
|   | <b>Aigües fondes</b> |              | <b>Aigües somes</b> |              |
|   | <b>Mòdul</b>         | <b>Angle</b> | <b>Mòdul</b>        | <b>Angle</b> |
|   | 48.901               | 64,39        | 70.219              | 79,87        |
|   | 45.505               | 53,74        | 59.465              | 75,26        |
| <b>Altura d'ona (H)</b>                 | 349.390              | 46,52        | 369.770             | 77,98        |
|   |                      |              |                     |              |
|   |                      |              |                     |              |
| <b>Energia (H<sup>2</sup>)</b>          |                      |              |                     |              |
|   |                      |              |                     |              |
|   |                      |              |                     |              |
| <b>Flux d'energia (H<sup>2</sup>·T)</b> |                      |              |                     |              |
|   |                      |              |                     |              |
|   |                      |              |                     |              |

Taula 11. Comparativa dels resultats a aigües somes i aigües fondes de la platja de Lloret.

| <b>Torre Valentina</b>                  |                      |              |                     |              |
|---|----------------------|--------------|---------------------|--------------|
|   | <b>Aigües fondes</b> |              | <b>Aigües somes</b> |              |
|   | <b>Mòdul</b>         | <b>Angle</b> | <b>Mòdul</b>        | <b>Angle</b> |
|   | 43.810               | 52,63        | 75.423              | 78,14        |
|   | 59.800               | 39,97        | 84.504              | 71,91        |
| <b>Altura d'ona (H)</b>                 | 487.540              | 35,34        | 438.240             | 82,23        |
|   |                      |              |                     |              |
|   |                      |              |                     |              |
| <b>Energia (H<sup>2</sup>)</b>          |                      |              |                     |              |
|   |                      |              |                     |              |
|   |                      |              |                     |              |
| <b>Flux d'energia (H<sup>2</sup>·T)</b> |                      |              |                     |              |
|   |                      |              |                     |              |
|   |                      |              |                     |              |

Taula 12. Comparativa dels resultats a aigües somes i aigües fondes de la platja de la Torre Valentina.

Com es pot observar clarament a partir dels resultats expressats a les Taules 10, 11 i 12 els fronts d'ona tendeixen a posar-se cada vegada més paral·lels a la costa a mida que es redueix la profunditat del fons marí i la direcció de l'onatge, doncs, és cada vegada menys obliqua.

Això succeeix perquè la part del front d'ona que es troba a menys profunditat es propaga cap a la costa cada vegada a una velocitat més petita.

A més, una conclusió que es pot extreure de forma immediata dels resultats (a banda de la tendència de l'angle d'incidència comentada anteriorment) és la gran diferència entre els valors de l'angle a aigües fondes i a aigües costeres, accentuant-se aquesta tendència en el cas del flux d'energia, l'element més a tenir en compte en aquest estudi degut al fet d'ésser el responsable del transport longitudinal de sediments.

Per tant, les diferències a l'hora de realitzar l'estudi són notòries en funció de treballar amb les dades a aigües fondes o amb els resultats de la propagació, així que per l'estudi de l'onatge en zones costaneres s'utilitzaran els resultats de la propagació.

A més, els resultats indiquen que els mòduls de l'onatge representatiu en el cas de l'altura d'ona són superiors a aigües someres (entre un 40 i un 70% majors). Això ha de ser degut al fet que els angles s'homogeneïtzen a la zona costera: el rang d'angles d'incidència disminueix i tendeix a acostar-se als 90°, per tant, els angles són més similars entre ells. Això provoca que al realitzar la suma vectorial els vectors a sumar tinguin direccions i sentits més propers, obtenint així resultats de la suma de vectors amb major mòdul.

Quan es propaguen ones cap a aigües de menor profunditat l'altura d'ona tendeix a disminuir. Aquest fet explica que els valors del mòdul considerant l'energia segueixin sent menors respecte als que consideren altura d'ona en el cas del període anual (tal i com s'ha especificat en l'apartat 7.2).

L'augment del mòdul en el cas d'estudiar segons el flux d'energia es molt menor (entre un 6 i un 9% en les platges de Lloret i Fenals) i fins i tot es produeix una disminució en el cas de la Platja de la Torre Valentina.

Per tant, les diferències a l'hora de realitzar l'estudi són notòries en funció de treballar amb les dades a aigües fondes o amb els resultats de la propagació, així que per l'estudi de l'onatge en zones costaneres s'utilitzaran els resultats de la propagació.

Per confirmar aquesta tendència s'estudia a continuació una comparació com l'anterior però en aquesta ocasió aplicant la restricció d'angles i considerant només el període d'hivern:

| <b>Fenals</b>                           |                      |              |                     |              |
|---|----------------------|--------------|---------------------|--------------|
|   | <b>Aigües fondes</b> |              | <b>Aigües somes</b> |              |
|   | <b>Mòdul</b>         | <b>Angle</b> | <b>Mòdul</b>        | <b>Angle</b> |
|   | 30.689               | 88,84        | 16.164              | 92,99        |
|   | 32.934               | 73,72        | 16.533              | 83,63        |
| <b>Altura d'ona (H)</b>                 |                      |              |                     |              |
| <b>Energia (H<sup>2</sup>)</b>          |                      |              |                     |              |
| <b>Flux d'energia (H<sup>2</sup>·T)</b> | 261.360              | 66,94        | 134.060             | 80,06        |

*Taula 13.* Comparativa dels resultats a aigües somes i aigües fondes de la platja de Fenals, amb restricció d'angles i per període d'hivern.

| <b>Lloret</b>                           |                      |              |                     |              |
|---|----------------------|--------------|---------------------|--------------|
|   | <b>Aigües fondes</b> |              | <b>Aigües somes</b> |              |
|   | <b>Mòdul</b>         | <b>Angle</b> | <b>Mòdul</b>        | <b>Angle</b> |
|   | 30.517               | 84,55        | 15.672              | 90,69        |
|   | 32.153               | 67,64        | 15.990              | 80,81        |
| <b>Altura d'ona (H)</b>                 |                      |              |                     |              |
| <b>Energia (H<sup>2</sup>)</b>          |                      |              |                     |              |
| <b>Flux d'energia (H<sup>2</sup>·T)</b> | 253.340              | 60,54        | 129.100             | 77,28        |

*Taula 14.* Comparativa dels resultats a aigües somes i aigües fondes de la platja de Lloret, amb restricció d'angles i per període d'hivern.

| <b>Torre Valentina</b>                  |                      |              |                     |              |
|---|----------------------|--------------|---------------------|--------------|
|   | <b>Aigües fondes</b> |              | <b>Aigües somes</b> |              |
|   | <b>Mòdul</b>         | <b>Angle</b> | <b>Mòdul</b>        | <b>Angle</b> |
|   | 29.729               | 94,72        | 15.354              | 96,68        |
|   | 39.542               | 75,94        | 19.221              | 84,72        |
| <b>Altura d'ona (H)</b>                 |                      |              |                     |              |
| <b>Energia (H<sup>2</sup>)</b>          |                      |              |                     |              |
| <b>Flux d'energia (H<sup>2</sup>·T)</b> | 320.070              | 68,31        | 156.230             | 80,14        |

*Taula 15.* Comparativa dels resultats a aigües somes i aigües fondes de la platja de la Torre Valentina, amb restricció d'angles i per període d'hivern.

Els resultats que reflecteixen les Taules 13, 14 i 15 confirmen que els angles d'incidència cada vegada són més ortogonals a les platges, tal i com s'observava en els resultats anteriors.

En el cas de treballar amb l'altura d'ona i l'energia els angles són encara superiors als obtinguts per el període anual, és a dir, més propers als 90º. Així doncs, en el període d'hivern es podria



produir una menor component longitudinal de l'onatge incident i, per tant, no s'accentuaria excessivament la variació de la línia de costa en aquest període.

Els resultats més sorprenents d'aquest estudi, però, són els mòduls de l'onatge incident representatiu. Els que corresponen a la propagació son molt menors que els d'aigües someres. A més, suposen un baix percentatge del mòdul del període anual si es realitza la comparació amb les Taules 10, 11 i 12.

Això podria succeir per les variacions al llarg dels anys de la direcció d'incidència de l'onatge, així que l'estudi amb més validesa serà aquell que estudiï els resultats any a any enlloc del període de gairebé 60 anys que s'està analitzant en aquest moment. Per tant, en el proper apartat s'estudiarà d'aquesta forma per poder obtenir resultats amb major validesa.

## 7.7. ONATGE ANY A ANY EN PERÍODE D'HIVERN, SEGONS FLUX D'ENERGIA, A AIGÜES SOMERES I APLICANT RESTRICCIÓ D'ANGLES

Aplicant la funció 48 de la Taula 4 a cada una de les platges a estudiar obtenim els següents resultats de les Figures 50, 51 i 52.

S'observa com en les 3 platges els valors de l'angle oscil·len entre valors pròxims a la normal a la platja, variant el sentit de la direcció longitudinal de l'onatge incident cada certs anys, provocant així el canvi de sentit del transport longitudinal de sediments i, per tant, generant en la platja un fenomen de rotació.

Tot i això, podem assegurar que la predominança en cada una de les tres platges són els angles inferiors a 90°, així que l'onatge incident provindrà de les zones situades al nord i a l'est de la platja. Per tant, la tendència d'aquestes platges serà de recolzar-se sobre la barrera limitadora que es trobi més al sud.

També es pot veure que malgrat estiguem treballant amb nodes diferents de la xarxa SIMAR-44 les dades d'aquests són similars, ja que l'onatge d'incidència a les platges de Fenals i Lloret té la mateixa tendència aproximada que l'onatge incident a la platja de la Torre Valentina.

Els angles d'incidència oscil·len en la platja de Fenals entre els 40 i els 110°, i és la platja en la qual la procedència de l'onatge és més dominant des del sud, ja que en la majoria dels anys estudiats l'onatge representatiu té un angle menor als 90°.

La resta de platges presenten uns resultats similars a la de Fenals, però amb uns valors mínims més alts, d'uns 60°-65°, i amb més anys amb un onatge representatiu amb angle d'incidència superior als 90°.

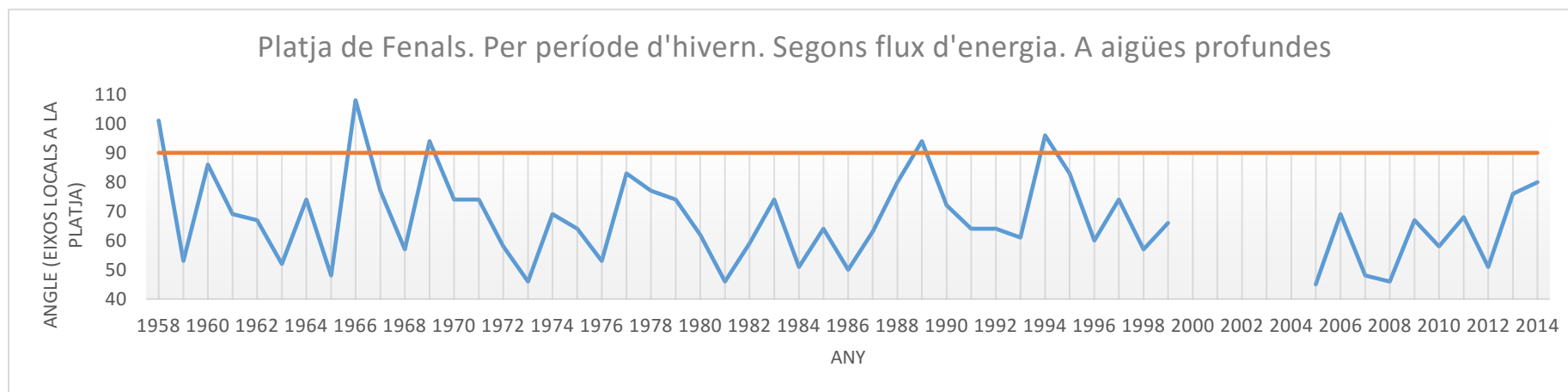


Figura 50. Angles d'incidència any a any de la Platja de Fenals. Per període d'hivern, segons flux d'energia, amb restricció d'angles i a aigües someres.

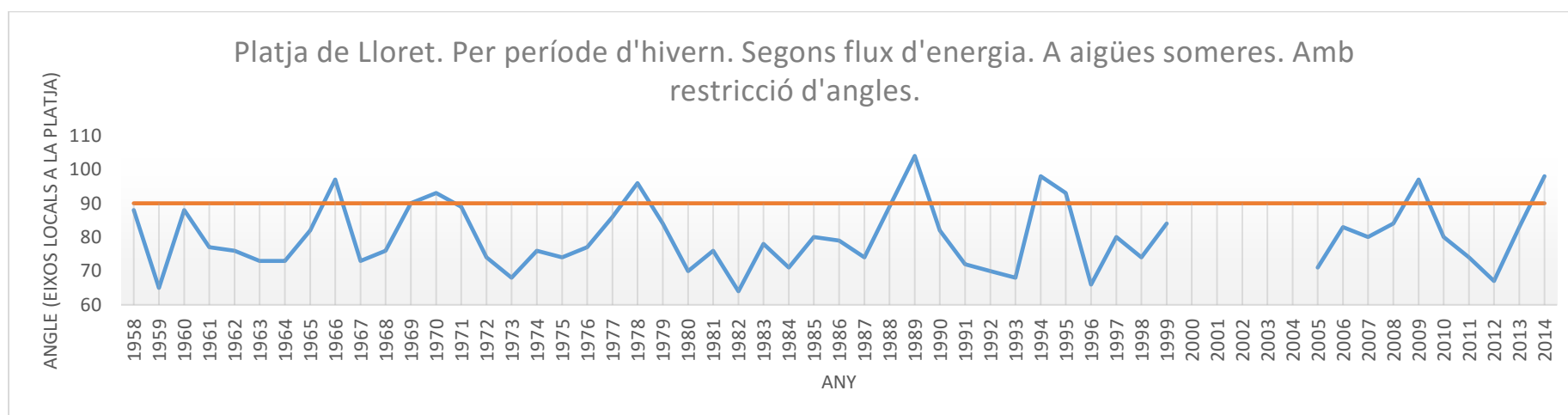


Figura 51. Angles d'incidència any a any de la Platja de Lloret. Per període d'hivern, segons flux d'energia, amb restricció d'angles i a aigües someres.

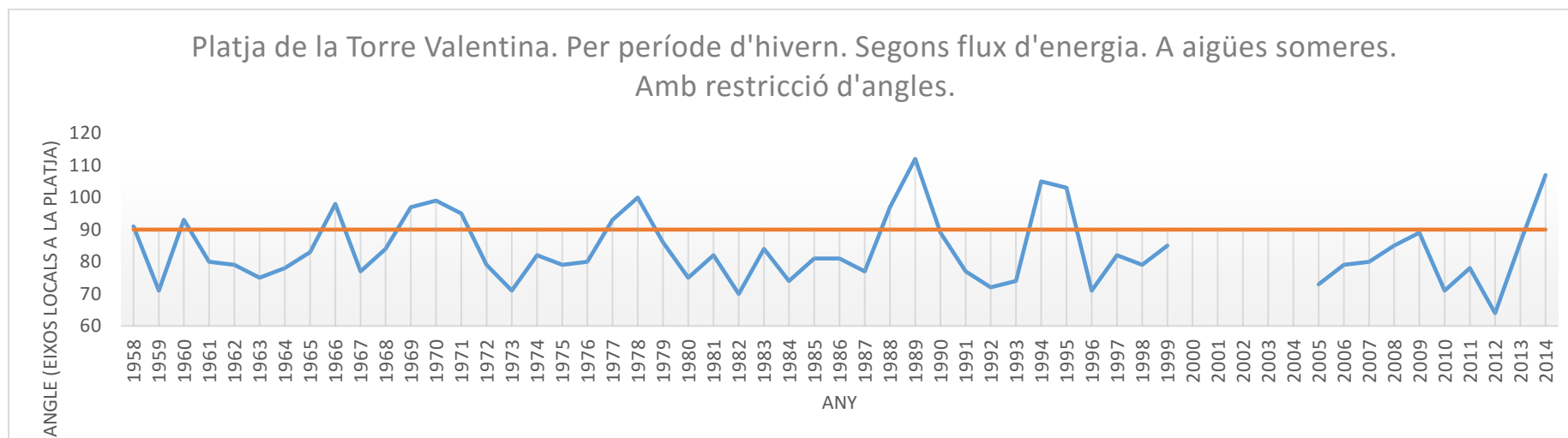


Figura 52. Angles d'incidència any a any de la Platja de Torre Valentina. Per període d'hivern, segons flux d'energia, amb restricció d'angles i a aigües somes.

## 7.8. ANÀLISI DE L'ONATGE FUTUR

El mètode per realitzar l'anàlisi de les dades de l'onatge futur és el mateix que l'utilitzat amb anterioritat pel tractament de registres passats.

Aquesta vegada dels resultats obtinguts se'n podrà extreure una predicció futura de quines seran les variacions de l'angle d'incidència i de l'altura d'ona, energia o flux d'energia de l'onatge.

### 7.8.1. A AIGÜES PROFUNDES

A continuació s'estudien els resultats a aigües profundes de les variacions de l'onatge previst futur en les tres platges a estudi. En aquest anàlisi, per tal de poder realitzar la comparació amb l'apartat 7.5, s'utilitzen les dades d'altura d'ona per a tot el període anual.

Aquest anàlisi és any a any, obtenint l'onatge incident representatiu de cada any des del 1950 fins al 2100. Per a l'obtenció de resultats més verídics, s'aplica la restricció d'angles corresponent a cadascuna de les platges.

Per començar, s'analitza les variacions en l'angle d'incidència. Es pot observar com, per norma general, l'onatge amb aquestes dades d'onatge té un angle d'incidència superior als registres SIMAR de Puertos del Estado. El nombre d'anys que aquest onatge té una incidència superior als 90º és més elevat en totes les platges.

Per tant, des de l'any 1950, segons les dades de Piero Waves, aquest onatge té una incidència que procedeix més des del sud, és a dir, provoca un desplaçament dels sediments cap a la zona nord, recolzant-se cap a aquest extrem de la platja.

Tot i això, aquests resultats també indiquen que l'alternança del sentit de la component longitudinal de l'onatge incident és molt més freqüent, d'entre un i dos anys.

La platja que globalment té més onatge procedent de més de 90º és la de Fenals. Com es pot veure en les Figures 53-58, s'ha afegit una línia de tendència de caràcter lineal a les gràfiques. A la platja de Fenals aquesta línia assoleix valors més alts (fins als 100º) en els primers anys de les dades que en les platges de Lloret i la Torre Valentina, on la línia es més propera als 90º.

La platja de Fenals també és aquella en que aquesta línia varia més en tot el període 1950-2100. Mentre que en la resta de platges la variació és mínima, en aquesta la variació del valor de l'angle és de gairebé un 10%.

El que sí que es pot determinar clarament és una tendència a la baixa d'aquest en totes les platges al llarg del període 1950-2100. A mida que se succeeixen els anys els valors de l'onatge son cada vegada inferiors, és a dir, l'onatge procedeix des del sud amb més intensitat.

Pel que fa a variacions en el mòdul de l'onatge incident representatiu de cada any, els resultats es troben representats en les Figures 54, 56 i 58. Els valors d'aquests mòduls es troben en les tres platges entre 2.000 i 3.000, amb valors molt puntuals que arriben a 3.500. Exceptuant tres o quatre valors en funció de la platja, les variacions al llarg dels anys són molt petites.

En aquest cas es produeixen diferències substancials entre les platges: així com en les platges de Fenals i Lloret el mòdul disminueix al llarg dels anys i, per tant, es pot interpretar que es produirà una lleugera disminució de l'altura d'ona segons els registres de Piero Waves; a la platja de la Torre Valentina aquesta tendència al llarg dels anys és a l'alça.

Com s'ha especificat en l'apartat 2.11, el node de la xarxa de Piero Waves escollit per la platja de la Torre Valentina és diferent a l'escollit per les platges de Fenals i Lloret, així que aquesta diferència pot raure en aquest fet.

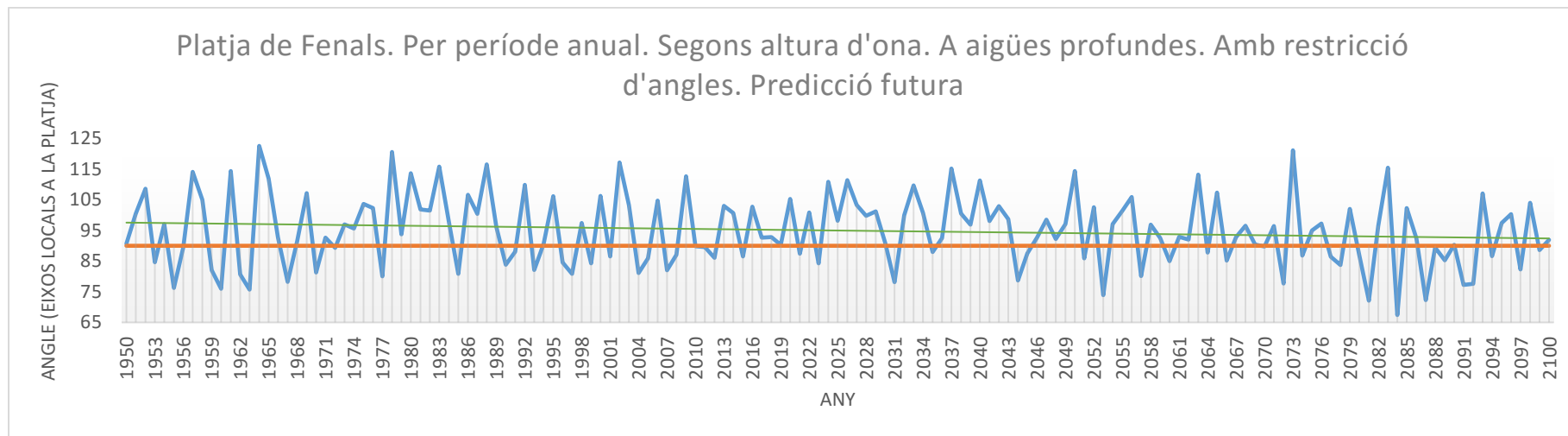


Figura 53. Angles d'incidència any a any de la Platja de Fenals. Per període d'any, segons altura d'ona, amb restricció d'angles, a aigües profundes.

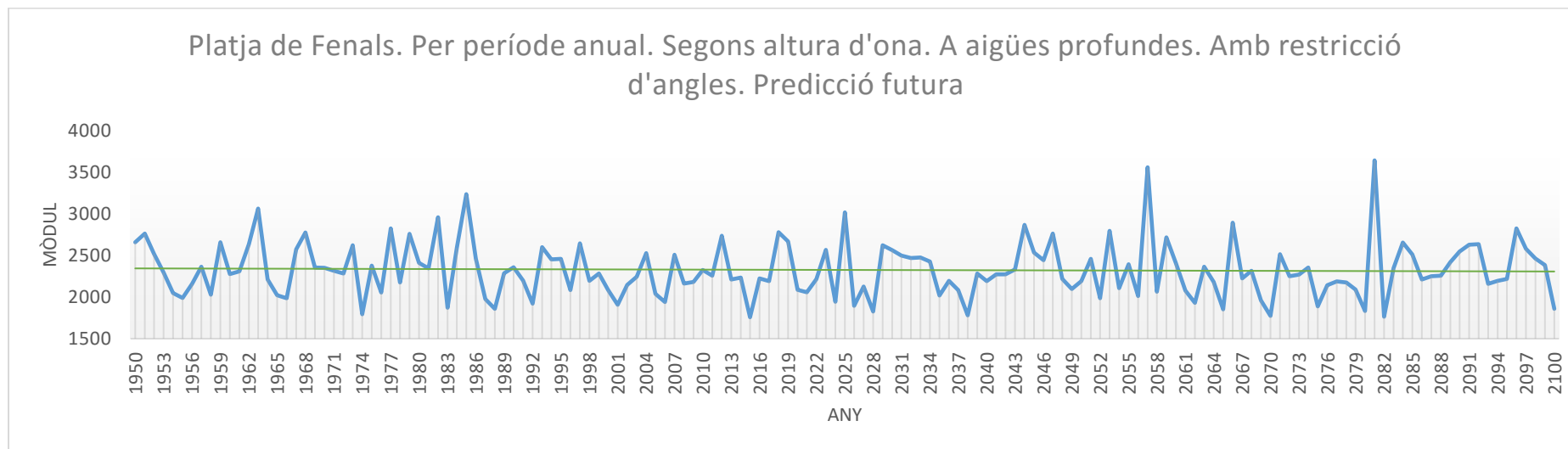


Figura 54. Mòdul d'incidència any a any de la Platja de Fenals. Per període d'any, segons altura d'ona, amb restricció d'angles, a aigües profundes.



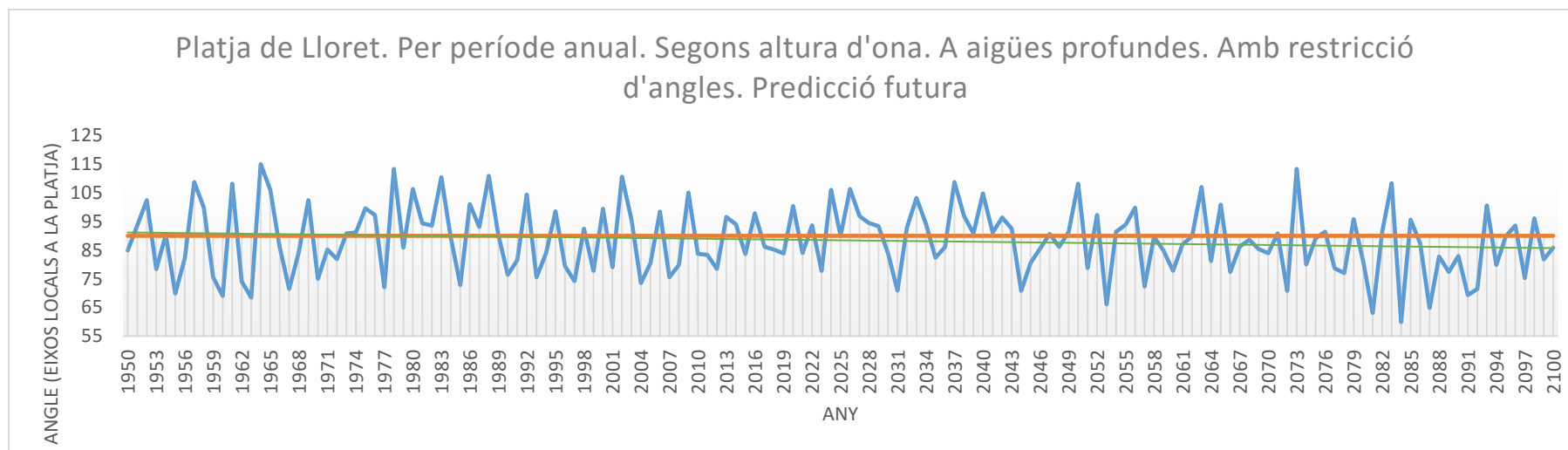


Figura 55. Angles d'incidència any a any de la Platja de Lloret. Per període d'any, segons altura d'ona, amb restricció d'angles, a aigües profundes.

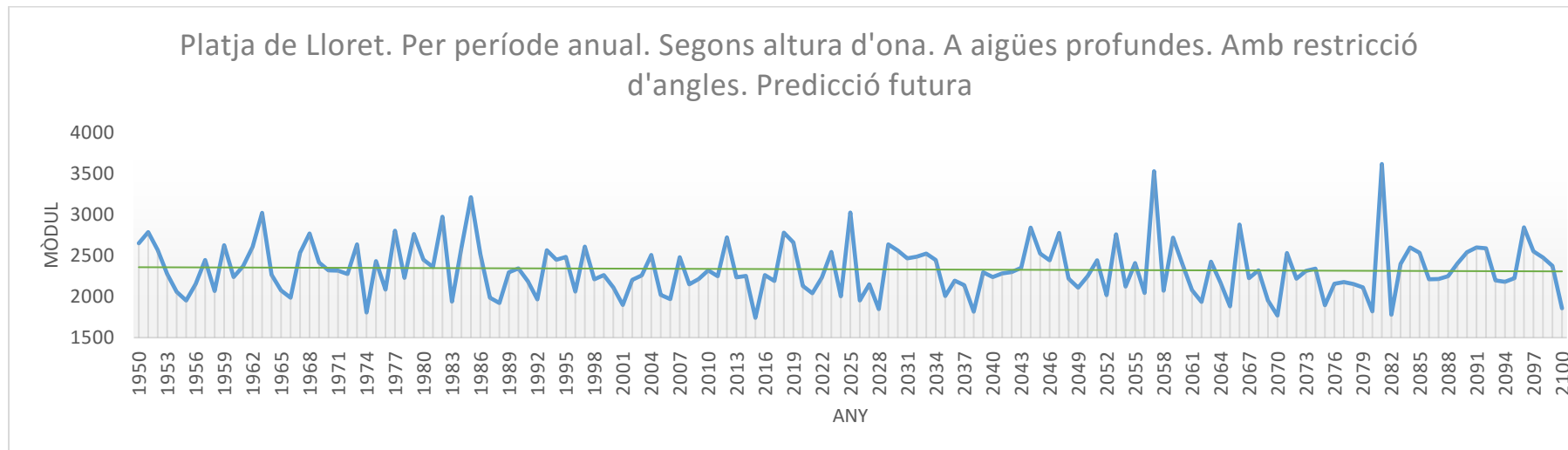


Figura 56. Mòdul d'incidència any a any de la Platja de Lloret. Per període d'any, segons altura d'ona, amb restricció d'angles, a aigües profundes.

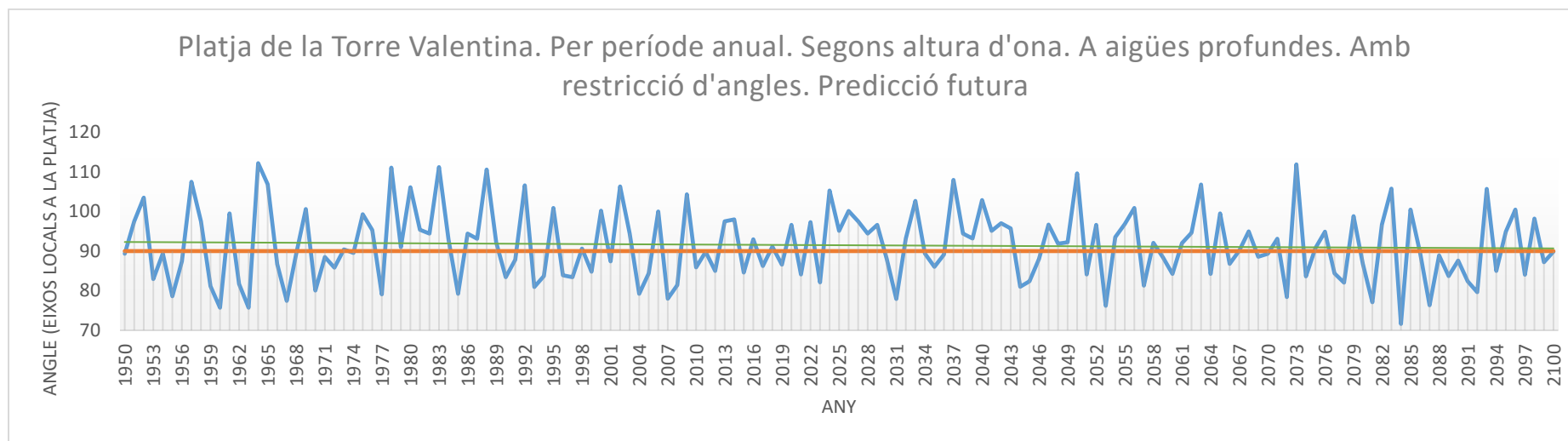


Figura 57. Angles d'incidència any a any de la Platja Torre Valentina. Per període d'any, segons altura d'ona, amb restricció d'angles, a aigües profundes.

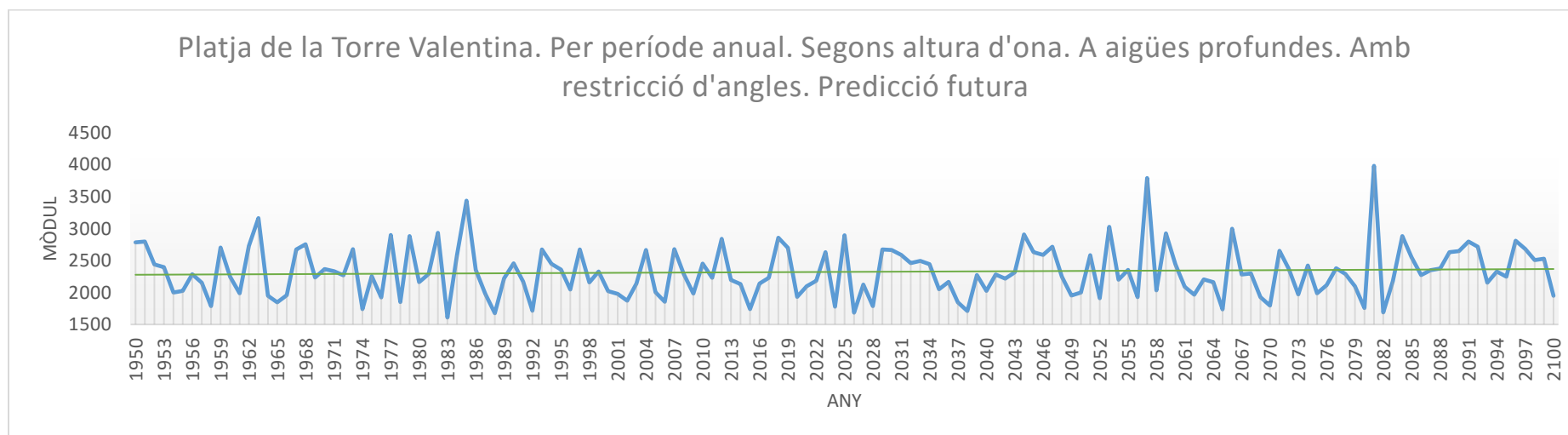


Figura 58. Mòdul d'incidència any a any de la Platja Torre Valentina. Per període d'any, segons altura d'ona, amb restricció d'angles, a aigües profundes.

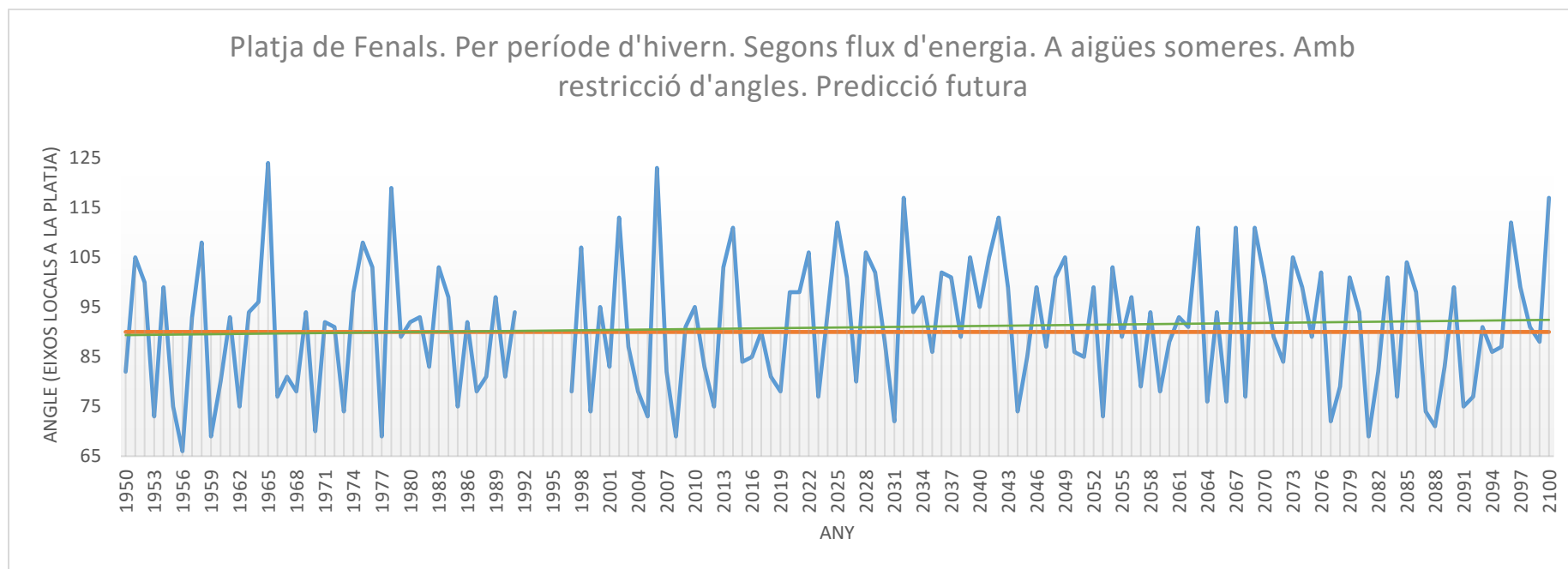
### 7.8.2. A AIGÜES SOMERES

En aquesta ocasió l'anàlisi també es realitzarà amb les sumes vectorials any a any, amb els valors propagats a aigües someres, amb la restricció d'angles, en funció del flux d'energia i per el període d'hivern per els motius exposats en l'apartat 6.10.

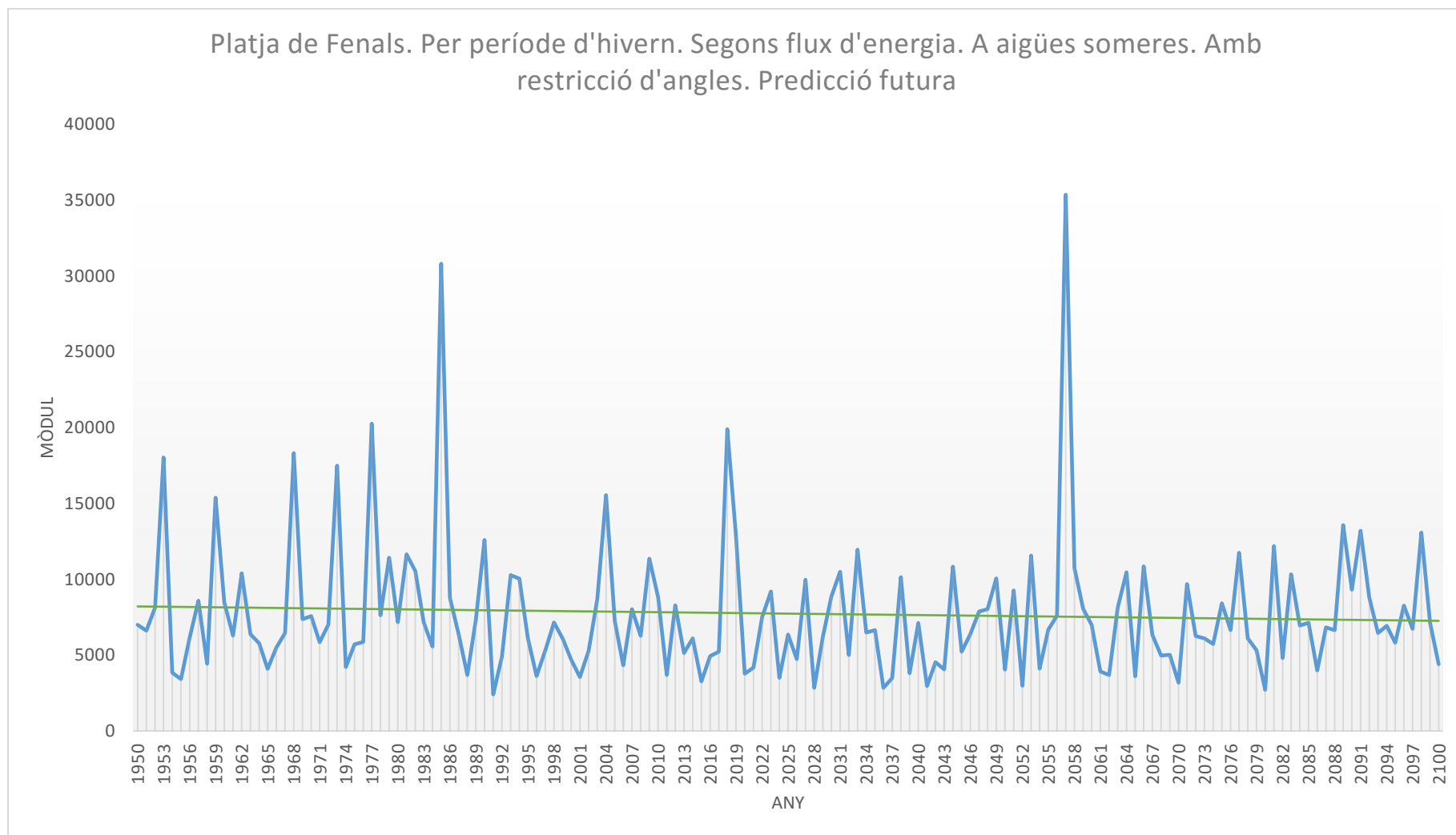
Als resultats obtinguts en forma de gràfica de l'angle d'incidència any a any se'ls afegeix una gràfica de l'evolució del mòdul de la suma vectorial any a any per tal d'avaluar la seva variació en el futur.

A més, s'afegeix a cada una de les gràfiques una línia de tendència de caràcter lineal que permetrà expressar gràficament la tendència dels valors. Aquesta línia apareixerà de color verd.

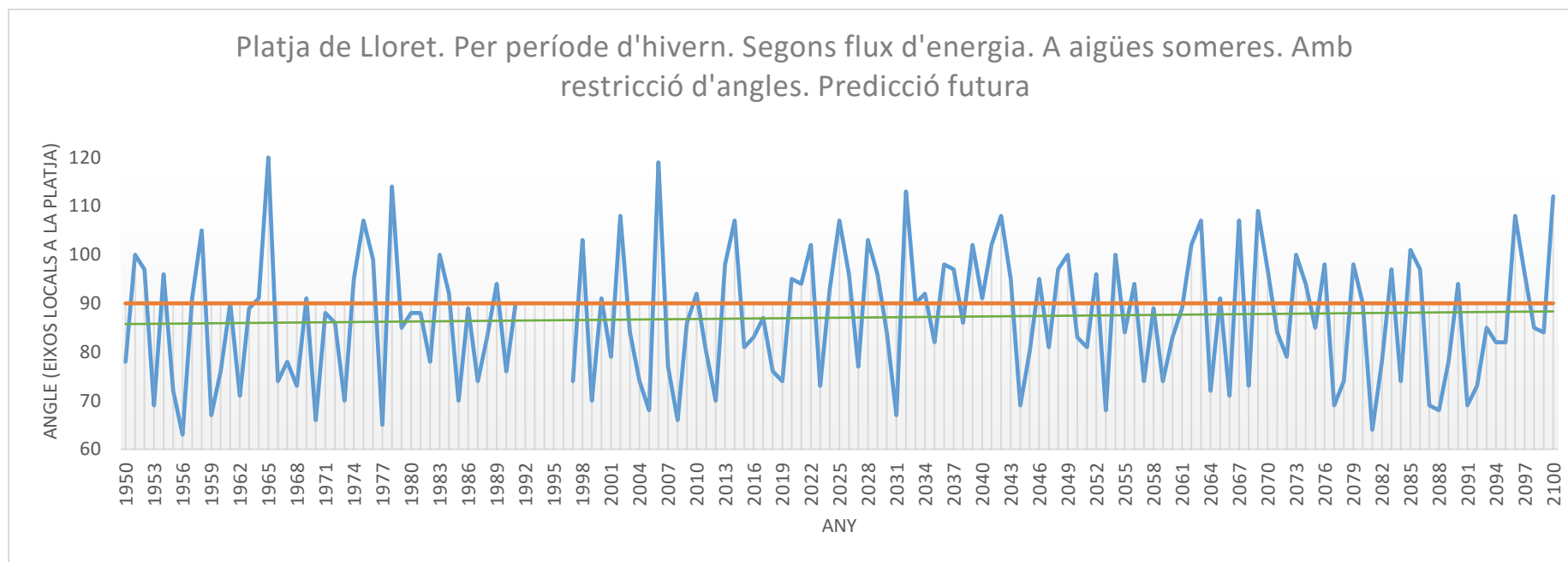
A continuació es presenten els resultats per cada una de les platges de l'estudi. La interpretació dels resultats es troba a l'apartat 8.1, on es comenten els efectes del canvi climàtic en l'onatge d'incidència.



*Figura 59.* Angles d'incidència any a any de la Platja de Fenals. Per període d'hivern, segons flux d'energia, amb restricció d'angles i a aigües somes. Predicció futura.



**Figura 60.** Mòdul d'incidència any a any de la Platja de Fenals. Per període d'hivern, segons flux d'energia, amb restricció d'angles i a aigües somes. Predicció futura.



*Figura 61.* Angles d'incidència any a any de la Platja de Lloret. Per període d'hivern, segons flux d'energia, amb restricció d'angles i a aigües somes. Predicció futura.

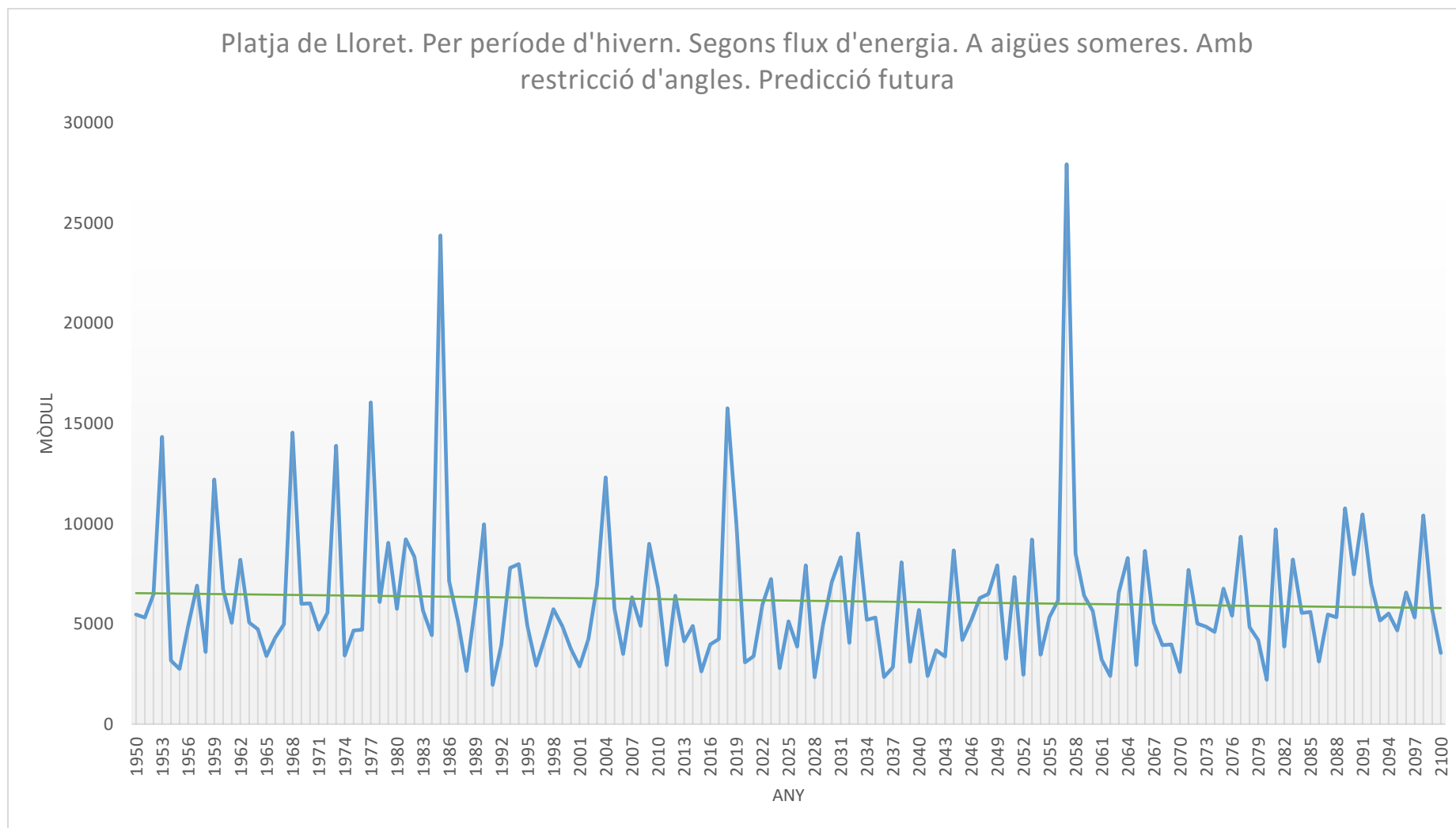
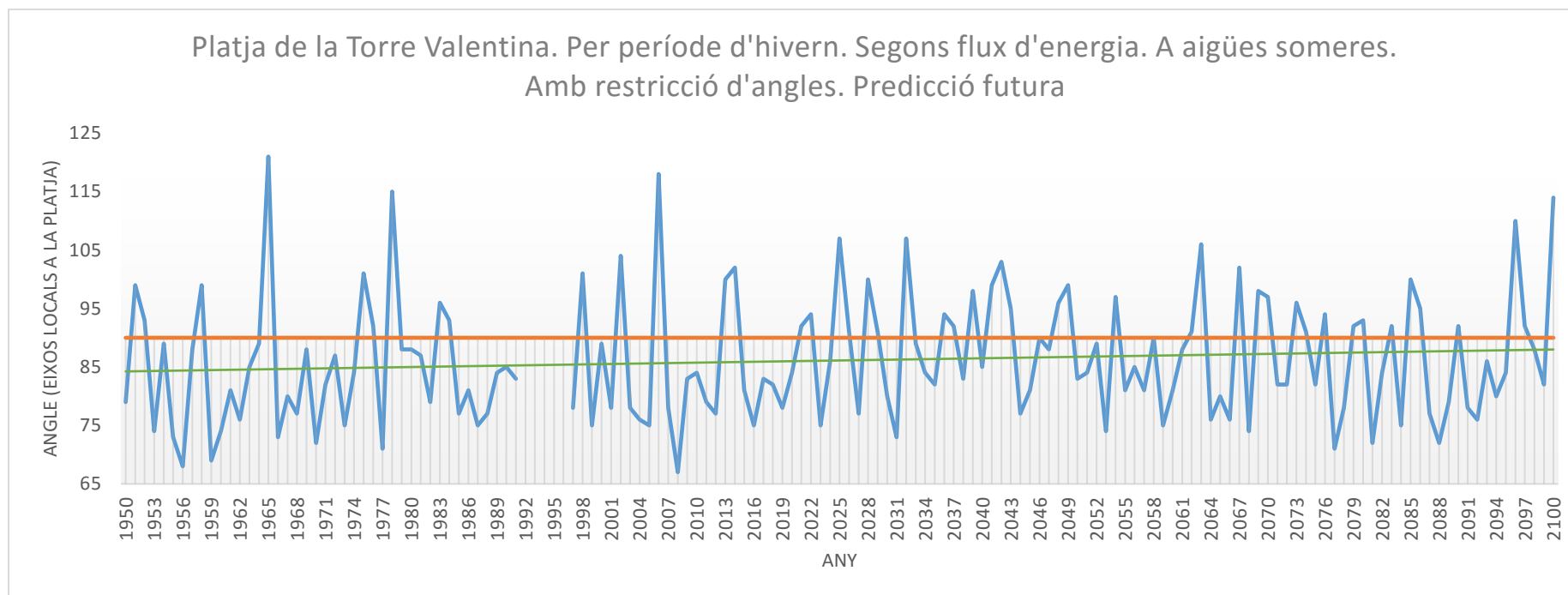
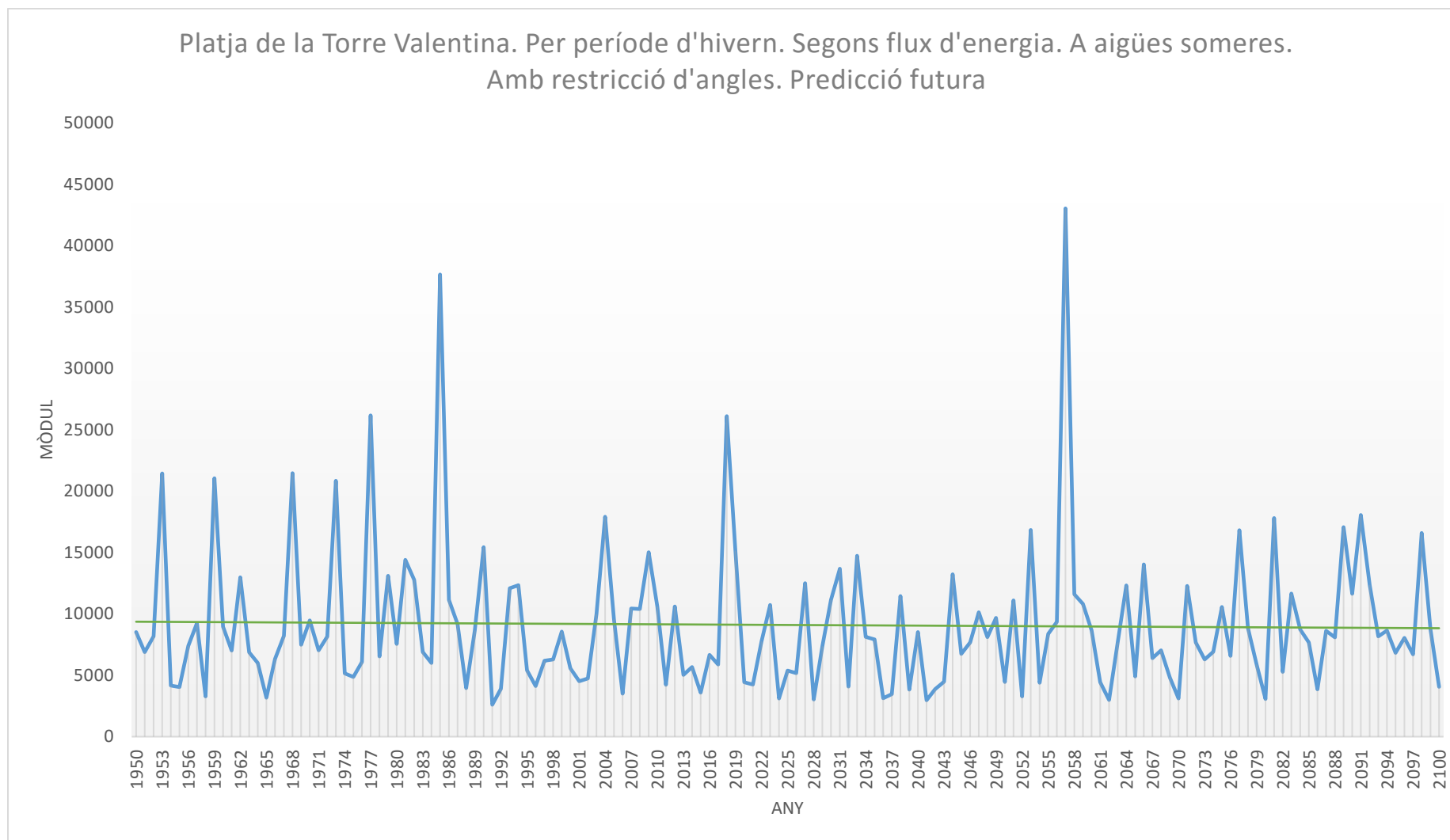


Figura 62. Mòdul d'incidència any a any de la Platja de Lloret. Per període d'hivern, segons flux d'energia, amb restricció d'angles i a aigües somes. Predicció futura.



*Figura 63.* Angles d'incidència any a any de la Platja de la Torre Valentina. Per període d'hivern, segons flux d'energia, amb restricció d'angles i a aigües somes. Predicció futura.





**Figura 64.** Angles d'incidència any a any de la Platja de la Torre Valentina. Per període d'hivern, segons flux d'energia, amb restricció d'angles i a aigües somes. Predicció futura.

## 8. CONCLUSIONS

### 8.1. EFECTES DEL CANVI CLIMÀTIC EN L'ONATGE D'INCIDÈNCIA

En les tres platges es pot observar una lleugera disminució del flux d'energia d'incidència al llarg del temps. Prenent com a referència la línia de tendència de les Figures 59-64, en el cas de la Platja de la Torre Valentina la disminució a l'any 2100 serà d'un 6% respecte a l'any 1950. Les platges de Fenals i de Lloret presenta una disminució del 12% en el mateix període.

Els valors de variació, malgrat ser baixos, són suficientment significatius com per tenir-los en compte. A més, la tendència és similar en cadascuna de les tres platges, la qual cosa ens permet interpretar amb més seguretat els resultats obtinguts.

Pel que fa al canvi de direcció de l'onatge en totes les platges la tendència és d'un augment del valor de l'angle d'incidència d'aquest. En les platges de Lloret i de la Torre Valentina aquest fet suposa que l'onatge incidirà cada vegada més de forma perpendicular a la platja, de tal manera que es disminueix la component longitudinal d'aquest. En canvi, a la platja de Fenals es produeix un canvi de tendència i el sentit de la component longitudinal de l'onatge incident resultant canvia.

En les tres platges l'onatge d'incidència cada cop té una procedència més marcada des del sud. En el cas de la platja de Fenals s'arriba a produir el canvi de sentit de la component longitudinal, ja que com s'ha analitzat des del principi és la platja que més predominança té d'onatges procedents de la zona sud.

En les altres dues platges aquest canvi de sentit en la component longitudinal no s'acaba de produir, però si es manté aquesta tendència en els següents anys tot indica que el canvi s'acabarà produïnt.

A més, s'observa com la freqüència d'oscil·lació del sentit de la component longitudinal de l'onatge incident augmenta en totes les platges estudiades.

## 8.2. INTERPRETACIÓ DELS EFECTES DEL CANVI CLIMÀTIC EN LA BASCULACIÓ I EL TRANSPORT LONGITUDINAL.

La lleugera disminució del flux d'energia que es produirà en el temps podria reduir la quantitat de transport longitudinal de sediments de les platges encaixades estudiades. La disminució és tan suau, però, que no es poden extreure conclusions clares de si aquesta tendència es produirà i tindrà efectes sobre les platges.

L'onatge tendirà a tenir una procedència més ancorada cap al sud a mida que es succeeixin els anys, per tant es pot preveure que el sediment de la platja es recolzarà sobre la barrera situada al nord de forma més intensa que en l'actualitat, augmentant l'ample de platja d'aquesta zona i disminuint el de la part sud. Malgrat tot, la variació dels angles d'incidència seran reduïdes i, per tant, aquests canvis morfològics seran mínims.

Pel que fa a la rotació de les platges aquesta serà més freqüent durant aquest segle, ja que la freqüència d'oscil·lació del sentit de la component longitudinal del flux d'energia incident augmenta en totes les platges estudiades.

### 8.3. VIES D'ACTUACIÓ DAVANT ELS EFECTES DEL CANVI CLIMÀTIC

Per contrarestar les variacions de la línia de costa de les platges estudiades es realitzen a continuació dues propostes a partir dels resultats obtinguts.

La primera d'elles és l'adaptació de mesures a partir de les variacions en la línia de costa que es preveuen. Com que l'onatge tendirà a tenir una procedència més del sud en els propers anys, l'ample de platja augmentarà en la zona nord. Per tant, una de les opcions per reforçar aquella zona i permetre una major acumulació de sediments és la formació d'un espigó al límit nord que permetria que el sediment de la platja no superés les zones limítrofes i, per tant, tingués un balanç negatiu de transport longitudinal de sediments.

Una altra mesura que es podria adaptar és la modificació del traçat del passeig marítim en les zones nord de les platges, fent-lo circular més allunyat de la línia actual de costa i garantint així que la quantitat de sediments que es pugui acumular en la zona nord sigui superior.

Una altra de les opcions és avaluar la quantitat de sediment que any a any s'acumularia en excés en aquesta zona nord i planificar el desplaçament d'aquest volum cap a la zona sud una vegada acabada la temporada de banyistes amb la maquinària adequada.

En la mateixa línia, també seria possible permetre que la platja sofrís un balanç negatiu de transport longitudinal de sediments (és a dir, part del sediment superaria el límit de la platja encaixada) i planificar realimentacions de la platja anualment o sempre que fos necessari.

La segona de les propostes de via d'actuació davant els efectes del canvi climàtic és complementaria a la primera. Es tracta de continuar amb l'estudi de les tendències futures de l'onatge amb altres models d'onatge futur i de climes marítims. Així es podrien comparar els nous resultats amb els obtinguts per així poder extreure'n unes conclusions amb més garanties.

Els resultats obtinguts preveuen variacions molt lleugeres, així que petits canvis poden significar una important diferència en els resultats de l'estudi. Per això caldria anar avaluant les variacions de l'onatge al llarg dels propers anys per poder observar si les tendències indicades per aquest estudi succeeixen o no a la realitat.

A partir d'aquestes comparacions amb el present estudi es podria confirmar la tendència indicada o, ans al contrari, suggerir una nova tendència.

Tot i això, si la tendència es seguís mantenint durant anys les basculacions tendrien a reduir-se perquè el flux d'energia incident provindria cada vegada més del sud, provocant que la gran majoria de sediments de la platja es trobessin permanentment recolzats sobre la barrera limítrof nord.

## 9. BIBLIOGRAFIA

### 9.1. DOCUMENTS

Casas-Prat, M. i Sierra, J.P. (2013). Projected future wave climate in the NW Mediterranean Sea. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, Vol. 00, 1-21.

Woodroffe, C.D. (2003). *Coasts: form, process and evolution*. Cambridge University Press. Cambridge.

Agustín Sánchez-Arcilla i José A. Jiménez. (1994). *Ingeniería de Playas (I). Conceptos de morfología costera*. Pags. 97-111.

Yepes, V. i Medina, J.R. (2006). *Gestión de playas encajadas de uso intensivo*. Pags. 297-304.

Puertos del Estado. (2014). *Conjunto de da DOCUMENTS*

Departament de Política Territorial i Obres Públiques. (2010). *Llibre Verd de la costa catalana*.

Generalitat de Catalunya i Laboratori d'Enginyeria Marítima UPC. (2006) *La Xarxa d'Instrumentació Oceanogràfica i Meteorològica (XIOM)*.

B. Rockel, A. Will, A. Hense: "The Regional Climate Model COSMO-CLM (CCLM)", *Meteorologische Zeitschrift*, pp. 347-348, 2008.

Enrico Scoccimarro, Silvio Gualdi, Alessio Bellucci, Antonella Sanna, Pier Giuseppe Fogli, Elisa Manzini, Marcello Vichi, Paolo Oddo, Antonio Navarra: "Effects of Tropical Cyclones on Ocean Heat Transport in a High-Resolution Coupled General Circulation Model", *Journal of Climate*, pp. 4368-4384, 2011.

Enrico Scoccimarro, Silvio Gualdi, Alessio Bellucci, Antonella Sanna, Pier Giuseppe Fogli, Elisa Manzini, Marcello Vichi, Paolo Oddo, Antonio Navarra: "Effects of Tropical Cyclones on Ocean Heat Transport in a High-Resolution Coupled General Circulation Model", *Journal of Climate*, pp. 4368-4384, 2011.

Grup d'Experts en Canvi Climàtic a Catalunya. (2014). *Catalunya i els objectius de reducció d'emissions de gasos d'efecte hivernacle*. Quart informe de progrés, 40-61.

Hallermeier, R. J. (1981). A Profile Zonation for Seasonal Sand Beaches from Wave Climate. *Coastal Engineering*, Vol. 4, 235-277.

## 9.2. ESPAIS WEB

[www.icgc.cat](http://www.icgc.cat) (Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya). (2014-2015)

[www.maps.google.cat](http://www.maps.google.cat) (Google Maps). (2014-2015)

[www.navionics.es](http://www.navionics.es) (Navionics). (2015-2016)

<http://www.elperiodico.cat/ca/noticias/ciencia/xarxa-boies-marines-tanca-pels-impagaments-generalitat-2327448> (2016)